



**SKRIPSI – TK141581**

**PENGEMBANGAN METODE  
PRETREATMENT MELALUI PROSES FISIK  
DAN KIMIA UNTUK OPTIMASI PRODUKSI  
BIOGAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia  
crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI  
LISTRIK - BIOGAS**

**Oleh:**

**Yudhiantono Atidhira**

**2313 100 109**

**Adam Noviansyah**

**2313 100 130**

**Dosen Pembimbing:**

**Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D**

**NIP. 19810713 200501 1 001**

**Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D**

**NIP. 19840508 200912 2 004**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2017**



**FINAL PROJECT – TK141581**

**ENHANCING PRETREATMENT METHOD  
THROUGH PHYSICAL AND CHEMICAL  
PROCESS FOR OPTIMIZING BIOGAS  
PRODUCTION FROM WATER HYACINTH  
(*Eichhornia crassipes*) AS ALTERNATIVE  
ELECTRICITY ENERGY - BIOGAS**

**By:**

**Yudhiantono Atidhira**

**2313 100 109**

**Adam Noviansyah**

**2313 100 130**

**Advisors:**

**Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D**

**NIP. 19810713 200501 1 001**

**Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D**

**NIP. 19840508 200912 2 004**

**CHEMICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## LEMBAR PENGESAHAN

### PENGEMBANGAN METODE PRETREATMENT MELALUI PROSES FISIK DAN KIMIA UNTUK OPTIMASI PRODUKSI BIOGAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI LISTRIK - BIOGAS


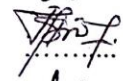
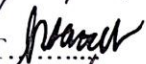

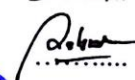
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik  
Kimia  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Oleh :

**Yudhiantono Atidhira**  
**Adam Noviansyah**

**NRP : 2313 100 109**  
**NRP : 2313 100 130**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Fadlilatul Taufany, S.T. Ph.D.  (Pembimbing 1)
2. Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D.  (Pembimbing 2)
3. Prof. Dr. Ir. M. Rachimoellah, Dipl. EST.  (Penguji I)
4. Dr. Ir. Susianto, DEA  (Penguji II)
5. Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T.  (Penguji III)



# **PENGEMBANGAN METODE PRETREATMENT MELALUI PROSES FISIK DAN KIMIA UNTUK OPTIMASI PRODUKSI BIOGAS DARI ECENG GONDOK (*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI LISTRIK - BIOGAS**

**Nama** : 1. Yudhiantono Atidhira  
2. Adam Noviansyah  
**NRP** : 1. 2313 100 109  
2. 2313 100 130  
**Pembimbing I** : Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D  
**Pembimbing II** : Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D

## **ABSTRAK**

Biogas merupakan produk akhir dari degradasi anaerobik oleh bakteri methanogen. Selain itu, biogas memanfaatkan bahan-bahan yang *renewable* dan penggunaannya pun ramah lingkungan. Biogas dapat dibuat dari berbagai macam limbah organik, contohnya limbah perairan yang berupa eceng gondok. Eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) merupakan gulma yang merugikan, namun tanaman ini memiliki nilai ekonomis yang dapat dimanfaatkan, yaitu dapat memproduksi gas metana karena memiliki kandungan hemiselulosa, selulosa, dan lignin yaitu 15.68%, 31.76% dan 4.38 (%TS). Lignin yang menjadi inhibitor menunjukkan perlu adanya proses *pretreatment* yang optimum agar biogas yang terbentuk lebih banyak dan lebih cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses *pretreatment* dengan metode fisik dan kimia. Metode-metodenya yaitu untuk mengetahui pengaruh suhu menggunakan alat *oven*, *autoclave*, dan *hot water bath* pada suhu 70-110°C, serta jenis asam organik yaitu asetat, oksalat, dan sitrat dengan kadar 5%, 10% dan 15% (w/w).

Adapun parameter yang diukur yaitu kandungan lignoselulosa, COD, *yield* biogas serta hasil analisa kandungan metana biogas. Dari penelitian ini dihasilkan bahwa proses *pretreatment* terbaik dihasilkan oleh *pretreatment* menggunakan *oven* dengan suhu 100 °C dan asam oksalat 15 % (w/w) selama 1 jam dengan kandungan hemiselulosa, selulosa, lignin dan COD yaitu 46.11%, 23.14%, 0.86% dan 31360 mgCOD/L. Kemudian, kuantitas produksi biogas yang dihasilkan oleh eceng gondok dengan proses *pretreatment* (kombinasi *oven* dengan suhu 100 °C serta asam oksalat 15% (w/w) selama 1 jam) lebih tinggi yaitu 375.68 L/kg VS daripada produksi biogas oleh eceng gondok tanpa proses *pretreatment* yaitu 368.654 L/kg VS. Dengan produksi gas tersebut, dapat dihasilkan listrik dengan beban maksimum pada load 300-Watt dan efisiensi optimum sebesar 10.64% menggunakan gas generator 600-Watt.

**Kata kunci:** Biogas, Eceng Gondok, Hidrolisis, Listrik,  
*Pretreatment*

# **ENHANCING PRETREATMENT METHOD THROUGH PHYSICAL AND CHEMICAL PROCESS FOR OPTIMIZING BIOGAS PRODUCTION FROM WATER HYACINTH (*Eichhornia crassipes*) AS ALTERNATIVE ELECTRICITY ENERGY - BIOGAS**

**Names** : 1. Yudhiantono Atidhira  
2. Adam Noviansyah  
**NRP** : 1. 2313 100 109  
2. 2313 100 130  
**Advisor I** : Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D  
**Advisor II** : Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D

## **ABSTRACT**

Biogas is the product of anaerobic degradation by methanogenic bacteria. In addition, biogas utilizes renewable materials and their use is environmentally friendly. Biogas can be produced from various kinds of organic waste, for example water waste, water hyacinth. Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) is a disadvantageous weed, but this weed has economic value that can be utilized. It produces methane gas because of hemicellulose, cellulose and lignin content of 15.68%, 31.76% and 4.38 (% TS). Lignin that becomes the inhibitor, shows the necessity for optimum pretreatment process, so that biogas formed is greater and faster. This study aims to determine the effect of pretreatment process with physical and chemical methods. The methods include the use of oven, autoclave, and hot water bath at 70-110 °C also organic acids (acetic, oxalate and citrate) with 5%, 10% and 15% concentration (w/w). The measured parameters are lignocellulose content, COD, biogas yield and analysis of methane content. From this research, the best pretreatment process was produced by pretreatment using oven with temperature 100 °C and oxalic acid

15% (w/w) for 1 hour with following hemicellulose, cellulose, lignin and COD content 46.11%, 23.14%, 0.86% and 31360 mg COD /L. Then, the quantity of biogas produced by water hyacinth by combined pretreatment process (oven with temperature 100 °C and 15% oxalic acid (w/w) for 1 hour) is 375.68 L/kg VS higher than biogas production by water hyacinth without process pretreatment, 368.654 L/kg VS. By that gas production, it can generate electricity with maximum load at 300-Watt and optimum efficiency at 10.64% using 600-Watt generator gas.

**Keywords:** Biogas, Electricity, Hydrolysis, Pretreatment, Water Hyacinth



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat, hidayah dan kuasaNya lah kami dapat menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul:

**“PENGEMBANGAN METODE *PRETREATMENT*  
MELALUI PROSES FISIK DAN KIMIA UNTUK  
OPTIMASI PRODUKSI BIOGAS DARI ECENG GONDOK  
(*Eichhornia crassipes*) SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI  
LISTRIK – BIOGAS”**

Laporan ini disusun guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada bidang Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu dalam penulisan Laporan Skripsi ini, diantaranya ialah:

1. Allah SWT.
2. Kedua Orang Tua kami, Keluarga Suwono dan Keluarga Sugiyono yang selalu mendukung dan memberikan suntikan semangat dan doa.
3. Bapak Fadlilatul Taufany, S.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing 1 dan Ibu Siti Nurkhamidah, S.T., M.S., Ph.D selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak saran, bimbingan dan waktunya dalam membantu menyelesaikan Tugas Akhir kami.
4. Bapak Edy Hartono selaku General Manager PT. PJB yang telah membantu dan memfasilitasi penelitian kami.
5. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
6. Prof. Dr. Ir. Ali Altway., M.Sc. selaku Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Departemen

Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).

7. Prof. Dr. Ir. Nonot Soewarno, M. Eng, yang telah banyak membimbing kami selama penelitian.
8. Dr. Ir. Susianto, DEA dan Dr. Yeni Rahmawati, S.T., M.T. selaku dosen-dosen pembimbing Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
9. Rekan – rekan seperjuangan, “LTD Mania” yang telah memberikan banyak semangat dan dukungan.
10. Tim PKM Asyique kami Mohd. Rizki Muliadi, Farida Norma Yulia, dan Majdina Angelia Syafrie yang sudah banyak membantu teknis penelitian kami. Jasa kalian sangat berharga.
11. Keluarga tersayang, Teknik Kimia ITS Angkatan 2013 (K-53) yang telah memberikan banyak saran serta tukar pengetahuan maupun pengalaman.
12. Seluruh pihak terkait yang telah membantu kami yang tidak dapat kami sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Laporan Skripsi ini. Maka dari itu dibutuhkan kritik serta saran dari pembaca yang diharapkan bisa memberikan masukan untuk Penulis agar lebih baik berikutnya

Surabaya, Juli 2017  
Penulis

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I        PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1      Latar Belakang .....	1
I.2      Rumusan Masalah .....	3
I.3      Tujuan .....	3
I.4      Batasan Masalah.....	4
I.5      Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II       TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
II.1      Eceng Gondok ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) .....	5
II.2      Kandungan Eceng Gondok ( <i>Eichhornia</i> <i>Crassipes</i> ) .....	6
II.3      Proses <i>Pretreatment</i> .....	8
II.4      Proses Produksi Biogas .....	14
II.5      Penelitian Terdahulu yang Berkaitan .....	18
<b>BAB III      METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	20
III.1      Deskripsi Penelitian .....	20
III.2      Bahan dan Alat yang Digunakan .....	20
III.3      Variabel Penelitian .....	23
III.4      Tahapan Produksi Penelitian.....	25
III.5      Analisa Hasil .....	28
<b>BAB IV       HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	33
IV.1      Pengaruh Metode <i>Pretreatment</i> terhadap Kandungan Lignoselulosa dan COD Eceng Gondok.....	34
IV.2      Pengaruh Metode <i>Pretreatment</i> Kombinasi dengan Asam Organik terhadap Kandungan Lignoselulosa dan COD Eceng Gondok .....	41

IV.3	Proses Produksi Biogas Menggunakan Umpan Eceng Gondok dengan <i>Pretreatment</i> Dan Tanpa <i>Pretreatment</i> .....	47
IV.4	Biaya <i>Pretreatment</i> serta Pengujian Hasil Biogas sebagai Umpan Generator Menggunakan <i>Load Bank Test</i> .....	52
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	
V.1	Kesimpulan .....	55
V.2	Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		xv
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Eceng Gondok ( <i>Eichornia crassipes</i> )	6
Gambar II.2	Struktur Molekul Selulosa	7
Gambar II.3	Struktur Molekul Hemiselulosa; terdiri dari xilosa, manosa, galaktosa dan <i>uronic acid</i> (G= Galaktosa dan M=Manosa)	7
Gambar II.4	Struktur Molekul Lignin	8
Gambar II.5	Skema Tujuan <i>Pretreatment</i> Biomassa Lignoselulosa	9
Gambar II.6	Skema Mekanisme Penguraian Lignin	10
Gambar II.6	Perbedaan <i>Knive mill</i> dan <i>Hammer mill</i>	11
Gambar II.7	Diagram Proses Pembentukan Biogas	14
Gambar III.1	Skema <i>Anaerobic Digester</i> Ukuran 4 L	21
Gambar III.2	Skema <i>Anaerobic Digester</i> Ukuran 300 L	22
Gambar III.3	(a) Reaktor Biogas 4 L (b) Reaktor Biogas 300 L	23
Gambar III.4	Kromatografi Gas <i>Agilent Hewliet Packard 6890 series</i> ( <i>sumber : Agilent 6890 N Network Gas Chromatograph Data Sheet</i> )	29
Gambar IV.1	Pengaruh <i>Pretreatment</i> dengan Menggunakan <i>Oven</i> terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	35
Gambar IV.2	Pengaruh <i>Pretreatment</i> dengan Menggunakan <i>Hot Water Bath</i> terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	36

Gambar IV.3	Pengaruh <i>Pretreatment</i> dengan Menggunakan <i>Autoclave</i> terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	37
Gambar IV.4	Pengaruh <i>Pretreatment</i> Menggunakan <i>Oven</i> terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok	38
Gambar IV.5	Pengaruh <i>Pretreatment</i> Menggunakan <i>Hot Water Bath</i> terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok	38
Gambar IV.6	Pengaruh <i>Pretreatment</i> Menggunakan <i>Autoclave</i> terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok	39
Gambar IV.7	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Asetat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	42
Gambar IV.8	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Sitrat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	43
Gambar IV.9	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Oksalat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok	44
Gambar IV.10	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Asetat terhadap Kandungan COD Dan Lignin Eceng Gondok	45
Gambar IV.11	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Sitrat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok	45
Gambar IV.12	Pengaruh <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Oksalat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok	46
Gambar IV.13	Lapisan-lapisan dalam <i>Anaerobic Digester</i>	48

Gambar IV.14	Laju Produksi Biogas Eceng Gondok Tanpa <i>Pretreatment</i> dan <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Oksalat 15%	50
Gambar IV.15	Kumulatif Pembentukan Biogas dari Eceng Gondok Tanpa <i>Pretreatment</i> dan <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Oksalat 15%	50
Gambar IV.16	Gambar Hasil <i>Load Bank Test</i> Biogas Tanpa <i>Pretreatment</i> dengan Generator 600 Watt	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Klasifikasi Eceng Gondok menurut Taksonomi	5
Tabel II.2	Metode <i>Pretreatment</i>	8
Tabel II.3	Kelebihan dan Kekurangan Proses Anaerob	15
Tabel II.4	Daftar Penelitian yang Berkaitan	18
Tabel IV.1	Perbandingan Hasil Analisa Komposisi Organik Eceng Gondok	33
Tabel IV.2	Kadar COD (mg COD/l) Awal Eceng Gondok, Setelah Pencampuran dan Setelah 25 Hari Fermentasi	49
Tabel IV.3	Kadar Biogas dari Eceng Gondok Tanpa <i>Pretreatment</i> dan <i>Pretreatment Oven</i> 100 °C dan Asam Oksalat 15%	52
Tabel IV.4	Biaya operasional <i>pretreatment</i> Eceng Gondok (Basis 1 kg Eceng Gondok)	54

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Meningkatnya populasi penduduk dari tahun ke tahun menyebabkan bertambahnya kebutuhan energi di dunia. Selama ini, pemenuhan kebutuhan energi di dunia didominasi oleh bahan bakar fosil. Namun kenyataannya, cadangan fosil di dunia semakin menipis sehingga dibutuhkan suatu energi alternatif dari masalah tersebut. Biogas merupakan salah satu penyelesaian masalah energi yang saat ini sedang hangat untuk dikembangkan sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan. Biogas merupakan produk akhir dari degradasi anaerobik bahan baku limbah atau bahan organik yang memiliki kandungan karbohidrat untuk dijadikan energi oleh bakteri methanogen. Biogas dapat dibuat dari berbagai macam limbah organik melalui proses penguraian secara anaerobik seperti limbah peternakan berupa kotoran ternak (Nwagbo et al., 1991; Garba et al., 1996; Zuru et al., 1998; Itodo dan Kucha, 1998), limbah industri (Uzodinma et al., 2007), sisa-sisa makanan atau limbah pengolahan makanan (Arvanitoyannis et al., 2007; Arvanitoyannis dan Ladas, 2008; Arvanitoyannis dan Varzakas, 2008), dan limbah perairan yang berupa eceng gondok (Ofoefule dan Uzodinma, 2008).

Eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) merupakan jenis gulma yang pertumbuhannya sangat cepat, yaitu dapat mencapai 1.9% per hari dengan tinggi antara 0.3-0.5 m. Pertumbuhannya yang begitu pesat, dirasa sangat merugikan karena sifatnya yang menutupi permukaan air sehingga kandungan oksigen di dalam air berkurang. Eceng gondok dapat dimanfaatkan dalam produksi biogas karena memiliki kandungan hemiselulosa yang cukup besar dibandingkan komponen organik zat tunggal lainnya (Yonathan, 2013). Nigam, 2002 menyebutkan bahwa Eceng gondok mempunyai kandungan organik antara lain hemiselulosa sebesar

48.7%, selulosa 18.2%, lignin 3.5% dan *crude protein* 13.3%. Dari kandungan tersebut, Eceng gondok dapat menghasilkan biogas sekitar 552 L/kg *volatile solids* (VS) dengan kandungan CH<sub>4</sub> (metana) maksimal sekitar 62% (Mathew et al., 2014). Akan tetapi, bahan-bahan organik yang berasal dari tumbuhan sulit didegradasi dibanding *animal manure* karena pada bahan-bahan yang berasal dari tumbuhan ini terdapat proses hidrolisis selulosa yang lambat (Kozo et al., 1996). Proses yang lambat ini dikarenakan terdapat kandungan lignin sehingga *yield* biogas menjadi tidak maksimal. Optimasi *yield* biogas ini dapat dicapai dengan metode *pretreatment* fisik, kimia, biologis maupun fisik-kimia.

L. Tao et al (2011) mengatakan bahwa biomassa dapat ditingkatkan kandungan lignoselulosa nya dengan di *pretreatment* menggunakan asam kuat encer (0.2 – 2.5% w/w) seperti asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), asam fosfat (HNO<sub>3</sub>), asam klorida (HCl) dan sebagainya. Contohnya ialah pada brangkas jagung yang di *pretreatment* dengan asam fosfat encer dengan pemanasan selama 45 menit pada suhu 170°C. Dari *pretreatment* itu *yield* gula meningkat sebanyak 85% (Avci et al, 2013). Namun, asam yang encer tersebut ternyata dapat menghilangkan kandungan nutrisi (S dan P) yang dibutuhkan dalam fermentasi (Zhang, et al, 2012)

Tentunya menggunakan asam kuat encer akan menghasilkan *pretreatment* yang lebih baik namun selain *cost* nya yang mahal, bahan tersebut juga tidak ramah lingkungan. Amnuaycheewa (2016) melakukan penelitian yaitu *pretreatment* jerami dengan cara kimiawi menggunakan asam organik 5%. Dengan proses tersebut dihasilkan *yield* biogas sebanyak 7 kali lebih banyak dibanding tanpa proses *pretreatment*. Tetapi proses *pretreatment* ini membutuhkan suhu yang relatif tinggi yaitu 129°C – 346°C, hal ini tentunya akan membutuhkan *cost* yang lumayan tinggi jika diaplikasikan di industri.

Selain dengan kimiawi, *pretreatment* dapat dilakukan dengan cara fisik yaitu dengan *hydrothermal pretreatment*. Kandungan lignoselulosa dapat meningkat 9.2% dengan pemanasan 170°C per jam nya (Qiao et al, 2011). Namun dirasa metode ini tidak efisien

karena membutuhkan *cost* yang mahal untuk memanaskan suhu 170°C sedangkan hasil biogas yang dihasilkan pun tidak terlalu signifikan. Selain itu, Ofoefule et al (2009) melakukan penelitian mengenai alat-alat yang digunakan untuk *pretreatment* secara fisik meliputi *oven*, *autoclave*, *waterbath* dan *microwave*. Dari penelitian tersebut dihasilkan bahwa *oven* merupakan alat terbaik untuk *pretreatment* Eceng gondok. Namun, masih belum ada penelitian lanjut mengenai kombinasi antara *pretreatment* fisik dan kimia pada eceng gondok.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengembangan penelitian untuk meningkatkan produksi biogas dari eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) dengan proses *pretreatment* secara fisik dan kimia yang efektif, efisien dan ramah lingkungan agar proses fermentasi eceng gondok menjadi biogas bisa lebih optimal.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh *pretreatment* terhadap kandungan lignoselulosa dalam eceng gondok?
2. Bagaimana kuantitas produk biogas yang dihasilkan setelah proses *pretreatment* eceng gondok?
3. Bagaimana analisa ekonomi dari proses *pretreatment* eceng gondok untuk menghasilkan efisiensi *overall* generator listrik?

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh variabel alat (*oven*, *autoclave* dan *hot water bath*) dan suhu pada *pretreatment* terhadap kandungan lignoselulosa dalam eceng gondok.
2. Mengetahui pengaruh kombinasi variabel suhu dan asam organik pada *pretreatment* terhadap kandungan lignoselulosa dalam eceng gondok.

3. Mengetahui kuantitas produk biogas yang dihasilkan dari proses *pretreatment* eceng gondok yang paling efektif.
4. Mengetahui biaya proses *pretreatment* eceng gondok untuk menghasilkan potensi listrik yang optimal.

#### **I.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sampel eceng gondok yang dipakai berbentuk hasil cacahan dengan menggunakan *blender* selama 30 detik.
2. Sampel eceng gondok yang digunakan adalah campuran dari eceng gondok dengan air dengan perbandingan 1:4
3. *Starter* menggunakan cairan *supernatant* dari pencampuran kotoran sapi dengan air yang telah menghasilkan gas metana. *Starter* tersebut sebelumnya telah di inkubasi dalam *reactor digester*.
4. Proses *anaerobic digester* pembentukan biogas menggunakan reaktor anaerobic dengan ukuran 4 L dan gas holder biogas 2 L untuk skala kecil dan 300 L dan plastic HDPE ukuran 2x1,5 m<sup>2</sup> untuk skala besar.

#### **I.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Dapat dijadikan sebagai evaluasi dari perlakuan teknis pada proses *anaerobic digester* eceng gondok dalam menghasilkan laju produksi biogas perharinya, yang kemudian dianalisa penghasilan komposisi gas metana tertingginya.
2. Mengevaluasi proses optimasi produksi biogas dalam menghasilkan efisiensi *overall* generator listrik.
3. Memaksimalkan potensi kebermanfaatan eceng gondok dalam menghasilkan sumber daya listrik terbarukan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### II.1 Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*)

Eceng gondok merupakan tanaman air yang termasuk dalam famili *Pontederiaceae*. Tanaman ini memiliki daun yang berbentuk bulat telur dan ditopang oleh tangkai berbentuk silinder memanjang yang bisa mencapai 1 m dan diameter kurang lebih 1 – 2 cm. Eceng gondok tumbuh mengapung di atas permukaan air dan tumbuh dengan menghisap air dan menguapkannya kembali melalui tanaman yang tertimpa sinar matahari melalui proses evaporasi (Aniek, 2003). Tabel II.1 merupakan klasifikasi eceng gondok menurut Taksonomi.

**Tabel II.1** Klasifikasi Eceng Gondok menurut Taksonomi

Kingdom	Plantae
Sub-kingdom	Tracheobionta
Super Divisi	Spermatophyta
Divisi	Magnoliophyta
Kelas	Liliopsida
Sub-kelas	Liliidae
Ordo	Liliales
Famili	Pontederiaceae
Genus	<i>Eichornia</i> Kunth
Spesies	<i>Eichornia crassipes</i>

Sumber: *Integrated Taxonomy Information System*

Eceng gondok digolongkan sebagai gulma perairan yang mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan dan berkembang biak secara cepat. Tempat tumbuh yang ideal bagi tanaman eceng gondok adalah perairan yang dangkal dan berair keruh, dengan suhu berkisar antara 28-30 °C dan kondisi pH berkisar 4-12. Sehingga tanaman ini banyak hidup di daerah tropis

maupun subtropis. Selain itu, Hasil penelitian Badan Penanggulangan Dampak Lingkungan mengatakan bahwa satu batang eceng gondok dalam waktu 52 hari mampu berkembang seluas  $1\text{m}^2$ , atau dalam satu tahun dapat menutup area seluas  $7\text{m}^2$ . Sehingga dengan perkembangbiakannya yang vegetatif yaitu melipat gandakan dua kali dalam waktu 7-10 hari, dalam waktu 6 bulan eceng gondok bisa tumbuh dengan luas area 1 ha setara dengan 125 ton.



**Gambar II.1** Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)

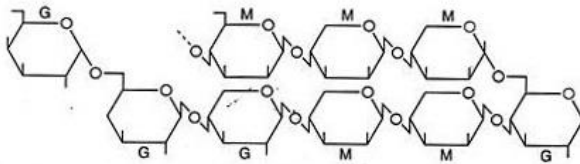
Tabel I.1 menunjukkan kandungan yang terdapat pada eceng gondok. Dengan potensi pertumbuhan yang sangat besar serta kandungan hemiselulosa yang tinggi, eceng gondok berpotensi untuk dijadikan bahan baku biogas sebagai alternatif energi.

## **II.2 Kandungan Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*)**

### **II.2.1 Hemiselulosa**

Hemiselulosa ialah polisakarida di tumbuhan yang mempunyai struktur kompleks dengan konfigurasi yang equatorial (Scheller and Ulvskov, 2010). Polimer ini relatif mempunyai rantai yang lebih pendek dan bercabang. Hemiselulosa terdiri dari monomer-monomer seperti xilosa, arabinose, glukosa, manosa dan galaktosa dengan struktur amorf (tidak memiliki struktur dan menyerupai Kristal) (Bailey and Ollis, 1986). Gambar II.3 menunjukkan struktur molekul dari hemiselulosa.



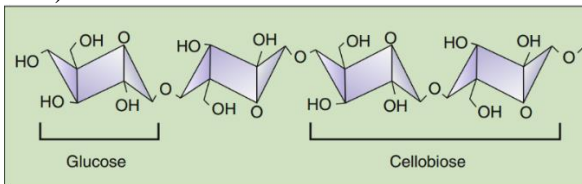


**Gambar II.3** Struktur Molekul Hemiselulosa; terdiri dari xilosa, manosa, galaktosa dan *uronic acid* (G= Galaktosa dan M=Manosa)

Sumber:(<http://biologydiscussion.com>)

### II.2.2 Selulosa

Selulosa ialah *linear* homopolimer yang terdiri dari D-glukopiranosida dan diikat oleh ikatan  $\beta$ -1,4-glikosidik. Pada umumnya, selulosa terdiri dari karbon (44,44%), hidrogen (6,17%) dan oksigen (49,39%) (Chen, 2014). Rumus molekul dari selulosa ialah  $(C_6H_{10}O_5)_n$  dengan n yaitu derajat polimerisasi (DP). Derajat polimerisasi menunjukkan angka dari grup glukosa. Untuk selulosa tumbuhan, derajat polimerisasi nya berkisar 305 – 13.500 (Widjaja, 2009). Gambar II.3 menunjukkan struktur molekul dari selulosa (Chen, 2014).

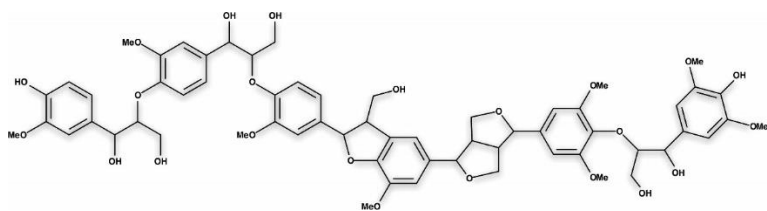


**Gambar II.2** Struktur Molekul Selulosa

### II.2.3 Lignin

Lignin ialah sekelompok grup aromatik polimer yang terbentuk dari 4-*hydroxyphenylpropanoids* (Boerjan et al, 2003; Ralph et al, 2004). Polimer ini berfungsi sebagai pertahanan dalam infeksi pathogen, *metabolic stress* dan gangguan dalam struktur dinding sel (Delgado et al, 2003; Tronchet et al, 2010). Lignin

merupakan faktor pengganggu dalam pengonversiannya menjadi biomassa, oleh karena itu dibutuhkan suatu *pretreatment* proses penghilangannya. Gambar II.4 menunjukkan struktur molekul dari lignin.



**Gambar II.4** Struktur Molekul Lignin  
 Sumber: (<http://www.ib.usp.br>)

### II.3 Proses *Pretreatment*

Proses *pretreatment* dan hidrolisis merupakan tahapan proses yang sangat penting yang dapat mempengaruhi perolehan *yield* biogas. Proses *pretreatment* dilakukan untuk mengkondisikan bahan-bahan lignoselulosa baik dari segi struktur dan ukuran. Tujuan dari *pretreatment* adalah untuk membuka struktur lignoselulosa agar selulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polimer sakarida menjadi monomer gula. *Pretreatment* menyediakan akses yang lebih mudah untuk enzim sehingga akan mengalami peningkatan hasil glukosa dan xilosa

Menurut Harmsen et al (2010) proses *pretreatment* yang sekaligus proses hidrolisis meliputi: perlakuan secara fisik, fisik-kimiawi, kimiawi dan enzimatik. Selengkapnya ditampilkan pada Tabel II.3 sebagai berikut:

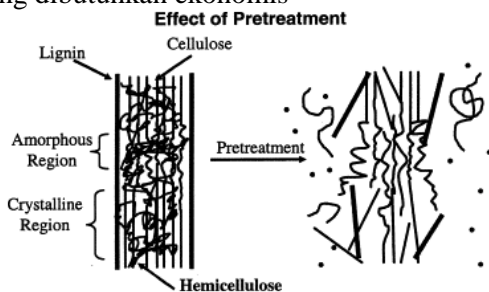
**Tabel II.2** Metode *Pretreatment*

Metode	Contoh
<i>Physical Pretreatment</i>	dipanaskan, digerus, digiling, digunting, ultrasonic
<i>Chemical Pretreatment</i>	Hidrolisis asam lemah, asam kuat, alkali, asam organik

Metode	Contoh
Kombinasi <i>Physical dan Chemical Pretreatment</i>	<i>Steam explosion, CO<sub>2</sub> explosion, Ammonia Fibre Explosion (AFEX)</i>
<i>Biological Pretreatment</i>	Menggunakan mikroorganisme

Selama beberapa tahun terakhir berbagai teknik *pretreatment* telah dipelajari melalui pendekatan biologi, fisika, kimia. *pretreatment* seharusnya memenuhi kebutuhan berikut ini (Osvaldo Z.S, 2012):

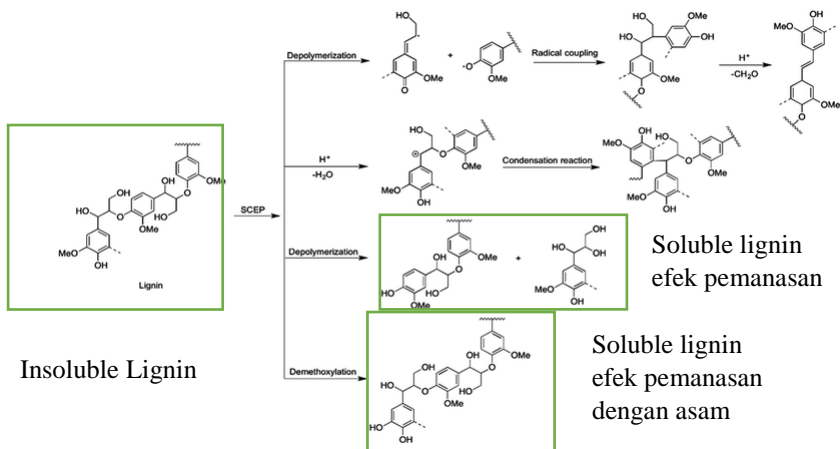
- 1) Meningkatkan pembentukan gula atau kemampuan menghasilkan gula pada proses berikutnya melalui hidrolisis enzimatis
- 2) Menghindari degradasi atau kehilangan karbohidrat
- 3) Menghindari pembentukan produk samping yang dapat menghambat proses hidrolisis dan fermentasi
- 4) Biaya yang dibutuhkan ekonomis



**Gambar II.5** Skema Tujuan *Pretreatment* Biomassa Lignoselulosa

Menurut Barua (2017), dengan adanya proses pemanasan menyebabkan kandungan *soluble* lignin meningkat, dan *insoluble* lignin menurun (berdasar hasil uji lignin, lignin yang teruji adalah insoluble lignin). Dengan meningkatnya kadar *soluble* lignin dan

menurunnya kadar *insoluble* lignin (reaksi depolimerisasi), menyebabkan selulosa lebih mudah diakses bakteri untuk diuraikan dalam proses anaerobic digester. Menurut Amnuaycheewa (2016), dengan proses penambahan asam disertai pemanasan, lignin akan melunak yang mengimplikasikan sebagian struktur lignin terlepas karena adanya reaksi depolymerisasi lignin.



**Gambar II.6** Skema Mekanisme Penguraian Lignin

### II.3.1 *Physical Pretreatment*

Metode ini biasanya bertujuan untuk mereduksi ukuran biomassa untuk meningkatkan luas permukaan aktifnya. Semakin besar luas permukaan biomassa maka akan semakin besar pula pengoptimalan hidrolisis lignoselulosa. Tak hanya itu, reduksi ukuran partikel dapat mengurangi viskositas di *digester* yang membuat lebih mudah untuk diaduk. Ukuran partikel yang direkomendasikan agar proses hidrolisis lignoselulosa berjalan efektif ialah 1 – 2 mm (Schell & Harwood, 1994). Untuk mereduksi

ukuran partikel biomass dapat digunakan 2 alat yaitu *knife mill* atau *hammer mill*.

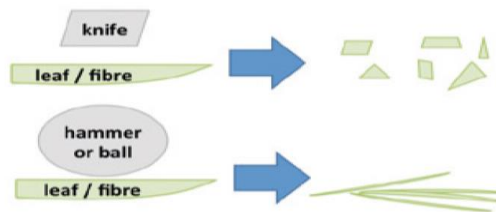
1. *Knife mill*

Menind and Normak (2010) melakukan percobaan untuk mereduksi ukuran jerami kering menggunakan *knife mill*. Mereka menemukan bahwa jerami kering tersebut menghasilkan biogas 10% lebih besar jika direduksi menjadi 0.5 mm dibanding ukuran 20 mm. Selain itu, mereduksi ukuran dari 100 mm hingga 2 mm dengan menggunakan *knife mill* dapat meningkatkan dapat meningkatkan *yield gas* 20 – 25% (Mshandete et al, 2006). *Knife mill* tidak cocok untuk substrat yang mengandung batuan atau metal.

2. *Hammer mill*

Hammer mill membutuhkan energi 2 – 5 kali lebih besar dibandingkan *knife mill* namun lebih mudah dioperasikan dan murah. Alat ini banyak digunakan di industri karena tidak mudah rusak karena batuan dan cocok untuk mengolah substrat dalam skala besar.

Gambar II.7 menunjukkan perbedaan *knife mill* dan *hammer mill*.



**Gambar II.7** Perbedaan *Knife mill* dan *Hammer mill*

*Physical pretreatment* juga bisa dilakukan dengan cara thermal yaitu dengan variasi suhu. Barua and Kalamdhad (2016) mengatakan bahwa Eceng gondok dapat di *pretreatment* dengan variasi alat seperti *oven*, *hot water bath*, *microwave* dan *autoclave*. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa *oven* merupakan alat *physical pretreatment* terbaik karena menghasilkan kumulatif gas methana yang lebih tinggi dibandingkan alat lainnya yaitu 3039 ml/g VS pada hari ke 35.

### II.3.2 *Chemical Pretreatment*

*Chemical pretreatment* dapat dilakukan dengan menggunakan asam kuat, alkali kuat maupun asam organik. Proses *pretreatment* menggunakan asam kuat encer (0.2 – 2.5% w/w) biasanya diikuti oleh kondisi temperatur yang tinggi (120 – 210°C). Metode ini cocok untuk operasi yang kontinu, selain itu metode ini memiliki keuntungan lebih yaitu *cost* operasi yang lebih murah dan sederhana. Akan tetapi, konsentasi asam yang encer (< 1% w/v) seperti asam sulfat dan fosfor dapat menghilangkan nutrisi penting yang dapat meningkatkan hasil fermentasi seperti unsur S dan P (Zhang et al, 2012). Kazi et al (2010) dan Talebnia et al (2010) mengatakan bahwa proses ini meliputi 2 tahap yaitu:

1. Hampir seluruh kandungan hemiselulosa yang ada di substrat biomassa akan terlarut pada asam encer.
2. Tahap kedua melibatkan penggunaan konsentrasi asam yang lebih tinggi untuk menghidrolisis selulosa dan hemiselulosa yang tersisa.

Penggunaan asam encer ini telah diaplikasikan pada beberapa biomassa seperti bambu, tongkol jagung, brangkasan jagung, kulit kentang dan sebagainya. Hong (2012) mengatakan bahwa dengan menggunakan asam fosfat encer dan dipanaskan pada 170°C selama 45 menit, bamboo dan tongkol jagung akan meningkat kandungan gula nya. Selain itu, Avci et al (2013) mengatakan jika brangkasan jagung di *pretreatment* dengan asam fosfat 0.5% v/v pada 180°C selama 15 menit maka kandungan glukosa nya akan meningkat 85%.

*Pretreatment* biomassa juga dapat menggunakan asam kuat seperti asam sulfat (65 – 86% w/v), asam klorida (41%) ataupun asam fosfat (85% w/w) (Bensah, 2013). Dengan menggunakan asam kuat ini, kondisi suhu yang diperlukan tidak setinggi jika menggunakan asam encer yaitu (70 – 121°C). Hanya saja dalam metode ini wajib diikuti dengan pencucian dan netralisasi dari substrat solid. Tentu dengan menggunakan asam kuat ini dibutuhkan *cost* operasi yang lebih besar, mengakibatkan

korosi terhadap alat-alat, serta memiliki potensi yang buruk untuk lingkungan. *Pretreatment* menggunakan asam anorganik pada contohnya ialah asam encer kurang efektif dalam menghilangkan lignin dibanding dengan menggunakan alkali, selain itu dalam penanganan limbahnya pastinya akan menghasilkan *solid waste*.

Selain dengan asam, *pretreatment* dapat dilakukan dengan menggunakan alkali. Alkali yang sering digunakan biasanya ialah NaOH dan CaO. *Pretreatment* menggunakan NaOH dapat memisahkan ikatan antara lignin dengan karbohidrat, meningkatkan luas permukaan internal, menurunkan derajat polimerisasi dan kiralinitas serta menghancurkan struktur lignin (Zhao, 2008). Dibandingkan dengan hidrolisis menggunakan asam, *pretreatment* menggunakan NaOH akan meningkatkan kemampuan biodegradasi enzimatik karena kemampuan delignifikasinya yang tinggi (Ioelovich dan Morag, 2012). Pedersen et al (2011) mengatakan bahwa menaikkan pH dari 10 menjadi 13 akan meningkatkan kemampuan delignifikasi dari 40% hingga 80% w/w jerami kering pada suhu 140°C. Selain itu, Zhao et al (2009) juga mengatakan bahwa memvariasikan NaOH 3 – 9% dengan bagasse kering akan meningkatkan kemampuan delignifikasi dari 52.3% - 75.5%.

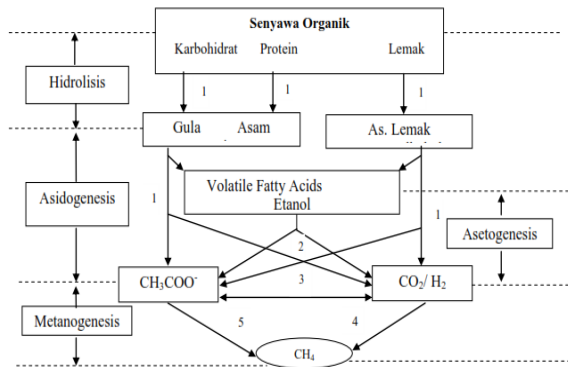
Jika dibandingkan dengan CaO, NaOH merupakan alkali yang *cost* nya lebih mahal. CaO cenderung lebih murah, lebih aman dan mudah didapatkan. Metode nya ialah dengan menambahkan CaO dan air ke biomassa pada temperatur ambien hingga 130°C. CaO akan meningkatkan laju hidrolisis biomassa dengan cara menghilangkan *acetyl groups* dan mempertimbangkan fraksi dari lignin (Kumar et al, 2009). Namun sayangnya alkali seperti NaOH dan CaO dapat menghilangkan kandungan dari hemiselulosa biomassa itu sendiri dan membentuk inhibitor.

Amnuaycheewa (2016) meneliti *pretreatment* oleh jerami menggunakan asam organik yang dirasa mudah dijangkau dan lebih murah seperti asam asetat, asam oksalat, asam sitrat dan sebagainya. Didapatkan bahwa hasil *pretreatment* oleh jerami lebih baik menggunakan asam sitrat serta dipanaskan pada suhu

126.19 °C. *Yield* biogas yang dihasilkan ternyata 7.4 kali lebih besar dibanding tanpa *pretreatment*

## II.4 Proses Produksi Biogas

Proses pengolahan limbah organik secara biologis bertujuan menurunkan kandungan bahan organik dalam suatu air buangan dengan memanfaatkan aktifitas mikroorganisme pengguna bahan organik sebagai sumber makanan dengan mengkonversi sebagian karbon menjadi  $\text{CH}_4$  dan sisanya menjadi bahan sel baru, yang semuanya disebut biogas.



**Gambar II.8** Diagram Proses Pembentukan Biogas

### II.4.1 Prinsip Dasar Pembentukan Biogas dari Bahan Organik

Pengolahan limbah secara biologis dibedakan menjadi dua proses yaitu proses aerobik dan proses anaerobik, pada proses aerobik berlangsungnya proses sangat tergantung dari adanya oksigen, sedangkan dalam proses anaerobik justru sebaliknya



karena oksigen menghambat jalannya proses. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.

- Proses aerobik :  

$$\text{Bahan organik} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{MO baru}$$
- Proses anaerobik :  

$$\text{Bahan organik} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{CH}_4$$

Kelebihan utama yang dimiliki pada proses anaerobik, yaitu:

1. Dihasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif.
2. Tidak diperlukan energi untuk aerasi.

Kelebihan dan kekurangan proses anaerob dapat dilihat pada Tabel II.3 (Sughezzo, 2004):

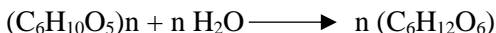
**Tabel II.3** Kelebihan dan Kekurangan Proses Anaerob

Kelebihan	Kekurangan
Derajat stabilitas tinggi	<i>Rate</i> pertumbuhan bakteri methanogenesis rendah
Produk <i>sludge</i> buangan rendah	Bakteri methanogenesis sangat <i>sensitive</i> terhadap perubahan temperatur
Kebutuhan <i>nutrient</i> rendah	Pada temperatur operasi <i>thermophilic</i> dibutuhkan energi untuk pemanasan
Dihasilkan gas metana sebagai sumber energi	
Tidak dibutuhkan energi untuk aerasi	

Penguraian bahan – bahan organik menjadi biogas melalui 4 tahapan proses, yaitu:

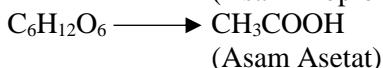
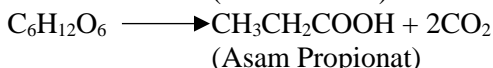
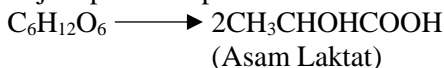
1. Tahap Hidrolisa

Dalam proses ini organisme fermentasi hidrolitik menghidrolisis dan fermentasi bahan organik kompleks seperti protein, poli karbonat, lipid, senyawa organik sederhana (format, asetat, asam lemak propionate, butirrat dan lainnya, etanol, dll), hydrogen dan karbon dioxida. Proses ditunjukkan oleh fermentasi glukosa oleh bakteri fermentasi selama 48 jam. Kelompok bakteri pada tahap hidrolisa ini adalah *Streptococci*, *Bacteriodes*, dan beberapa jenis *Enterobacteriaceae*. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:



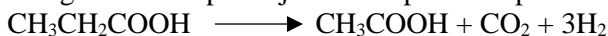
2. Tahap Asidifikasi

Produk utama fermentasi adalah asetat, hidrogen, karbondioksida, propionat, dan butirrat. Propionat dan butirrat di fermentasi lebih lanjut menjadi hidrogen, karbondioksida dan asetat yang merupakan pembentukan metana (methanogenesis). pH optimum bagi bakteri asidogenesis adalah 5,2 – 6,5 dengan laju pertumbuhan spesifik 2 hari (Solera, 2002). Kelompok bakteri asidifikasi, seperti bakteri asidogen dan *Desulfovibrio*. Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah:

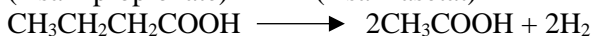


### 3. Tahap Asetogenasi

Produk dari tahap asidifikasi yang tidak langsung dikonversi menjadi metana oleh bakteri methanogenik akan dikonversi menjadi senyawa methanogenik selama proses asetogenesis. Produk yang terbentuk selama asetogenesis disebabkan oleh sejumlah mikroba yang berbeda misalnya *Syntrophobacter wolnii decomposer* propionate dan *Wolfei sytrophomonos* dekomposer butirat dan pembentuk asam lainnya adalah *Clostridium spp*, *Peptococcus anerobus*, *Lactobacillus*, dan *Actinomyces*. Tahap asetogenasi ini juga termasuk pada produksi asetat dari hydrogen dan karbon dioksida oleh asetogen dan homoasetogen. Kadang – kadang tahap asidifikasi dan asetogenasi dikombinasikan sebagai satu tahapan saja. Reaksi pada tahap ini adalah:



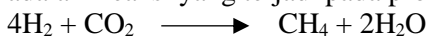
(Asam propionate)                      (Asam asetat)



(Asam butirat)                              (Asam asetat)

### 4. Tahap Methanogenasi

Proses pada tahap methanogenasi dilaksanakan oleh mikroorganisme kelompok metanogen, yang terbagi dalam dua kelompok, kelompok pertama adalah bakteri yang mengkonversi asam asetat menjadi karbon dioksida dan metana oleh mikroorganisme asetotropik, sedangkan kelompok kedua adalah *hydrogen – utilizing* methanogenesis menggunakan hidrogen sebagai elektron dan karbondioksida sebagai elektron aseptor untuk menghasilkan dua kali lipat. pH optimum yang diperlukan 6 – 7 (Solera, 2002). Bakteri yang berperan dalam tahap ini adalah Reaksi yang terjadi pada proses ini adalah:



## II.5 Penelitian Terdahulu yang Berkaitan

Berikut adalah penelitian terdahulu mengenai *pretreatment* biomassa untuk biogas:

**Tabel II.4** Daftar Penelitian yang Berkaitan

No	Nama Penulis	Judul	Hasil yang Diperoleh
1.	Ofoefule et al, (2009)	<i>Comparative Study of The Effect of Different Pretreatment Methods on Biogas Yield from Water Hyacinth (Eichhornia crassipes)</i>	Dilakukan komparasi <i>pretreatment</i> Eceng Gondok dengan cara dicacah dan dikeringkan, dicacah-dikeringkan-KOH dan dikeringkan-dicampur dengan kotoran sapi. Didapatkan bahwa penambahan KOH tidak terlalu mengefek banyak terhadap <i>yield</i> biogas dan Eceng Gondok lebih baik dikeringkan dan dicampur oleh kotoran sapi
2.	Z., Osvaldo S., 2012	Pengaruh Konsentrasi Asam dan Waktu pada Proses Hidrolisis dan Fermentasi Pembuatan Etanol dari Alang-alang	<i>Pretreatment</i> terbaik yang digunakan untuk reaksi hidrolisis khusus Pembuatan Etanol dari Alang-alang adalah dengan konsentrasi asam 2% pada suhu 140 °C selama 150 menit.

3.	Amnuayche ewa, Plaimein, dkk., 2016.	<i>Enhancing Enzymatic Hydrolysis and Biogas Production from Rice Straw by Pretreatment with Organic Acids.</i>	<i>Pretreatment</i> menggunakan asam-asam organik seperti asam sitrat, oksalat dan asetat. Didapatkan bahwa asam oksalat 5% pada suhu 135,91 °C menghasilkan <i>yield</i> 7.22 kali lebih besar sedangkan menggunakan asam sitrat akan menghasilkan <i>yield</i> sebesar 7,4 kali lebih besar dibanding tanpa <i>pretreatment</i> .
4.	Barua dan Kalamdhad , 2017	<i>Effect of Various Types of Thermal Pretreatment Techniques on the Hydrolysis, Compositional Analysis and Characterization of Water Hyacinth</i>	Dilakukan komparasi <i>thermal pretreatment</i> terhadap Eceng Gondok menggunakan alat-alat antara lain <i>oven</i> , <i>hot water bath</i> , <i>microwave</i> , dan <i>autoclave</i> . Dihasilkan bahwa <i>oven</i> adalah alat yang paling efektif dengan <i>pretreatment</i> karena menghasilkan kumulatif gas methana sebesar 3039 ml CH <sub>4</sub> / g VS pada hari ke 35.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 Deskripsi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari suhu, dan asam organik pada proses *pretreatment* Eceng gondok agar terbentuk biogas yang optimum. Metode penelitian yang digunakan ialah *oven*, *hot water bath* dan *autoclave*. Penelitian ini meliputi: *Pretreatment* eceng gondok dengan masing-masing metode dan variabel. Kemudian hasil *pretreatment* tersebut dianalisa kandungan COD dan Lignoselulosa sebelum dan sesudah *pretreatment*. Dari hasil *pretreatment* terbaik, dilanjutkan dengan pembuatan biogas. Kemudian hasil biogas dianalisa kandungan metana nya dan dilanjutkan dengan pengukuran daya listrik yang dapat dihasilkan.

#### **III.2 Bahan dan Alat yang Digunakan**

##### **III.2.1 Bahan yang Digunakan**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

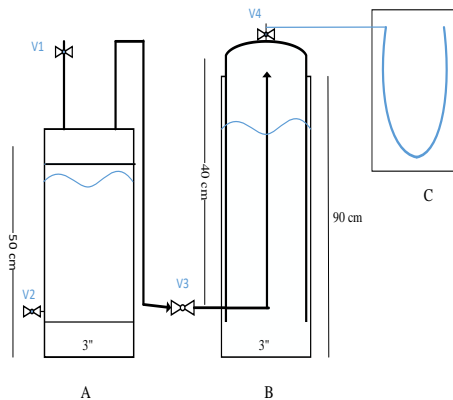
1. Eceng gondok
2. Kotoran sapi
3. Natrium Hidroksida (NaOH) teknis 98%
4. Air
5. Urea
6. Asam Asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) teknis
7. Asam Oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) teknis
8. Asam Sitrat ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) teknis

##### **III.2.2 Alat yang Digunakan**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Mesin pencacah (Blender MIYAKO BL-101 PL 200 Watt)
2. Gelas Ukur 250 mL dan 1000 mL

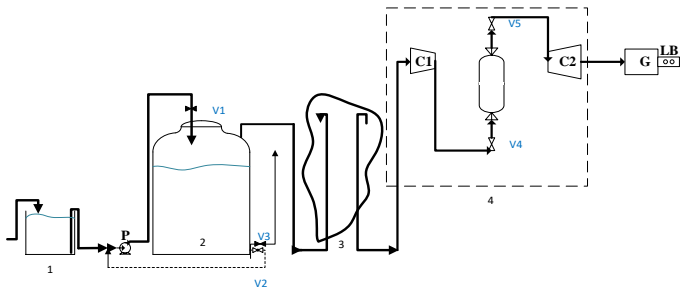
3. Timbangan
4. *Oven KIRIN KBO-190RAW 400 Watt*
5. *Autoclave*
6. *Hot Water Bath*
7. Neraca analitik
8. *Michelin MCX24 Air Compressor (24 L, 8 bar)*
9. Generator Listrik 1200 Watt dan 600 Watt
10. *Load Bank Test*
11. Wh meter
12. *Anaerobic Digester* ukuran 4L (**Gambar III.1**)
13. *Anaerobic Digester* ukuran 300L (**Gambar III.2**)



Keterangan :

- A = Reaktor *Anaerobic Digester*  
 B = *Gas Holder*  
 C = Manometer  
 V1 = Saluran umpan masuk (*feed in*)  
 V2 = *Drain Valve*  
 V3 = Valve antara Gas Holder dan Reaktor  
 V4 = *Gas Holder Valve*

**Gambar III.1** Skema *Anaerobic Digester* Ukuran 4L



Keterangan :

- 1 = Tanki penyiapan *feed* (umpan)
- 2 = Profil Tank 300L sebagai *anaerobic digester*
- 3 = Plastik HDPE ukuran 1.5x2 m<sup>2</sup> sebagai *gas holder*
- 4 = *Compressor*
- G = Gas Generator
- P = Pompa untuk memasukkan *feed* dan sirkulasi
- LB = *Load bank test* (25-1000 Watt)
- V1 = *Valve Feed* (umpan masuk)
- V2 = *Drain Valve* dan Sirkulasi
- V3 = *Valve overflow*
- V4 = *Safety valve compressor*
- V5 = *Regulator valve* keluaran *compressor*
- C1 = Proses Kompresi
- C2 = Proses Ekspansi

**Gambar III.2** Skema *Anaerobic Digester* Ukuran 300L



### III.2.3 Skema Reaktor Biogas dan Alat Penelitian



(a)



(b)

**Gambar III.3** (a) Reaktor Biogas Ukuran 4L (b) dan Reaktor Biogas Ukuran 300L

## III.3 Variabel Penelitian

### III.3.1 Kondisi Operasi

Penelitian ini dilakukan pada kondisi:

- *Pretreatment* Eceng gondok
  1. Ukuran Eceng gondok akan direduksi dengan menggunakan mesin pencacah (blender) merek Maxim dengan kecepatan di skala 1, selama 30 detik sehingga ukurannya menjadi kurang lebih 1-2 mm.
  2. Eceng gondok yang digunakan untuk pengujian adalah campuran antara eceng gondok dan air dengan perbandingan massa 1:4
  3. Massa Eceng gondok yang digunakan sebesar 25 gram per sampel
  4. Waktu *pretreatment*: 1 jam
- *Anaerobic Digester*
  1. Tekanan operasi *anaerobic digester*: 760 mmHg (atmosferik)

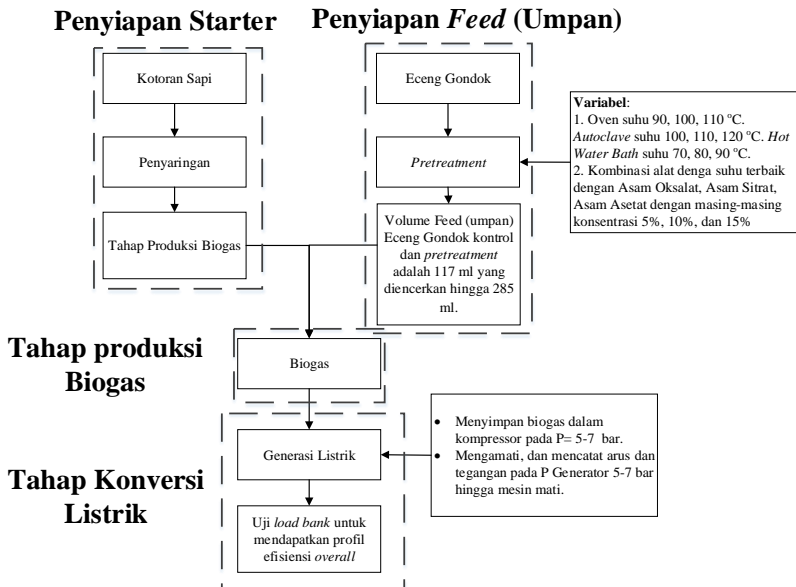
2. Suhu *anaerobic digester*: 28 -32 °C
3. *Feed anaerobic digester*: Eceng gondok sekitar Kampus ITS.
4. Volume *feed* Eceng Gondok kontrol dan *pretreatment* adalah 117 ml yang diencerkan hingga 285 ml.

### III.3.2 Penetapan Variabel

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Variabel *Independent*
  1. Suhu *pretreatment oven* 90, 100, 110 °C , *autoclave* yaitu 100, 110, 120°C serta *hot water bath* yaitu 70, 80, 90 °C
  2. Jenis asam yang digunakan untuk *pretreatment* yaitu asam asetat, asam oksalat dan asam sitrat
  3. Konsentrasi asam yang digunakan (% w/w) yaitu 5%, 10% dan 15%
  4. Kombinasi suhu, jenis asam dan rasio asam dengan *pretreatment*.
- Variabel *Dependent*
  1. Kandungan Lignoselulosa sebelum dan sesudah *pretreatment*
  2. COD substrat sebelum dan sesudah *pretreatment*
  3. *Yield* biogas dan kandungan gas

### III.4 Tahapan Prosedur Penelitian



#### III.4.1 Prosedur Penelitian

##### 1. *Pretreatment* Eceng gondok

Dalam penelitian ini Eceng gondok akan di *pretreatment* dengan cara fisik, kimia dan fisik-kimia. *Physical pretreatment* dilakukan dengan variabel suhu pada alat *oven*, *autoclave*, dan *hot water bath*. Sedangkan *Chemical pretreatment* dengan menambahkan asam organik dengan rasio perbandingan massa yang telah ditentukan oleh variabel yaitu 5%, 10% dan 15% (w/w). Dari hasil *Physical pretreatment* terbaik kemudian dilakukan *physio-chemical pretreatment* dengan menggabungkan kedua metode *pretreatment* dengan fisik dan kimia. Langkah-langkah dalam *pretreatment*nya adalah sebagai berikut :

- a. Suhu
  - 1) Eceng gondok dihancurkan dengan menggunakan mesin pencacah (blender) selama 30 detik.
  - 2) Masing-masing sampel kemudian dimasukkan kedalam *oven/autoclave/hot water bath* dengan variabel suhu yang telah ditentukan selama satu jam.
  - 3) Uji sampel
- b. Kombinasi Asam organik dan Suhu
  - 1) Eceng gondok dihancurkan dengan menggunakan mesin pencacah (blender) selama 30 detik.
  - 2) Dari hasil variabel suhu yang terbaik dari masing-masing alat, sampel ditambahkan asam organik konsentrasi 5, 10, dan 15% (% w/w), kemudian dipanaskan selama satu jam dengan metode *Physical pretreatment* terbaik. Asam organik yang digunakan ialah asam asetat, sitrat dan oksalat teknis.

## 2. Persiapan *Starter*

Digunakan kotoran sapi sebagai *starter* untuk proses *anaerobic digester*. Kotoran sapi sebanyak 20 kg diencerkan dengan air di tanki pengencer dengan perbandingan 1:7. Kemudian kotoran sapi yang sudah encer disaring untuk diambil pengotor-pengotornya seperti rumput, dedaunan, plastik, dan lain-lain. Selanjutnya larutan kotoran sapi tersebut diinkubasi pada reaktor *profile tank* 300L hingga tidak menghasilkan gas kembali dan dapat dibakar atau sekitar 14 hari.

## 3. Persiapan *Feed*

Untuk variabel kontrol (tanpa *pretreatment*), eceng gondok yang digunakan adalah eceng gondok yang

hanya di hancurkan dengan blender selama 30 detik. *Feed* akan dimasukkan kedalam reaktor sebanyak 169.9425 gram (diencerkan menjadi 285 ml) atau setara dengan *load* 1.43 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dan HRT selama 7 hari. Sedangkan untuk variabel *pretreatment*, eceng gondok yang digunakan adalah eceng gondok yang di hancurkan dengan blender selama 30 detik dan kemudian di-*treatment* dengan *physio-chemical pretreatment* terbaik sesuai dengan hasil analisa. Setelah itu, *feed* untuk variabel *pretreatment* disaring terlebih dahulu dan dicuci dengan menggunakan air bersih agar kandungan eceng gondok menjadi netral (pH 6.7 – 7). *Feed* dengan variabel *pretreatment* akan dimasukkan kedalam reaktor dengan jumlah yang sama dengan variabel kontrol (tanpa *pretreatment*) yaitu 169.9425 gram (diencerkan menjadi 285 ml) kedalam atau setara dengan *load* 1.83 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari dan HRT selama 7 hari.

#### 4. Pembentukan Biogas Dalam *Anaerobic Digester*

Bubur eceng gondok sesuai dengan variabel masing-masing dimasukkan kedalam reaktor *anaerobic digester* yang bertipe *batch*. Substrat ini yang akan di fermentasi oleh mikroorganisme yang diumpankan dari penampung *starter*. Hasil fermentasi ini adalah biogas sebagai produk atas dengan kandungan utamanya CH<sub>4</sub>, dan CO<sub>2</sub> yang kemudian akan ditampung di *gas holder*.

Digunakan reaktor ukuran 4L untuk mengukur hasil kumulatif biogas dan produksi biogas perhari dari variabel kontrol dan *pretreatment*. Serta digunakan Reaktor ukuran 300L dengan tujuan untuk menghasilkan gas yang lebih banyak agar dapat digunakan untuk dikonversi menjadi listrik.

## 5. Tahap Generasi Listrik

Pada tahap ini biogas yang sudah terbentuk dikompres untuk ditampung pada tabung *compressor* hingga *pressure* 5-7,5 bar. Kemudian dialirkan menuju generator gas pada tekanan keluaran 1 bar. Baru setelah itu diukur waktu untuk masing-masing beban yang digunakan pada *load bank* yaitu berkisar antara 25-700 Watt. Hasil dari pengujian generasi listrik ini didapatkan nilai efisiensi pada masing-masing beban hingga beban maksimal.

### III.5 Analisa Hasil

#### III.5.1 Gas Kromatografi

Gas Kromatografi adalah proses pemisahan campuran menjadi komponen – komponen dengan menggunakan gas sebagai fase bergerak yang melewati suatu lapisan serapan yang diam. Seluruh bentuk kromatografi terdiri atas fase diam dan fase gerak. Pada prinsip nya, gas kromatografi memisahkan senyawa-senyawa yang mudah menguap serta stabil terhadap panas melalui kolom yang mengandung fase diam. Pemisahan ini didasarkan oleh laju perpindahan masing-masing komponen melalui kolom. Komponen-komponen tersebut dapat dianalisa secara kuantitatif dari nilai waktu retensi nya. Gas kromatografi terdiri dari fase gerak dan fase diamnya antara lain :

- Fase gerak adalah gas dan zat terlarut terpisah sebagai uap. Pemisahan tercapai dengan partisi sampel antara fase gas bergerak.
- Fase diam berupa cairan dengan titik didih tinggi (tidak mudah menguap) yang terikat pada zat padat penunjangnya.

Pada penelitian ini digunakan gas kromatografi dengan merk *Agilent Hewliet Packard* 6890 series.



**Gambar III.4** Kromatografi Gas Agilent Hewliet  
*Packard 6890 series (sumber : Agilent 6890 N Network Gas  
Chromatograph Data Sheet)*

Pada *Gas Chromatography* digunakan *Flame Ionization Detector* (FID) dan kolom kapiler (*Nukol Bonded Free Fatty Acid phase*). Kolom ini dioperasikan pada suhu 250 °C serta injektor pada suhu 180 °C . Helium digunakan sebagai gas carrier dengan laju 20 ml/menit. Sampel yang digunakan ialah 200 µL dengan split rasio 1 : 7 dengan kondisi operasi detektor pada suhu 200 °C dan *flowrate* helium 3 ml/menit.

### **III.5.2 Uji Kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*)**

COD (*Chemical Oxygen Demand*) adalah jumlah oksigen (mg O<sub>2</sub>) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter sampel air, dimana pengoksidasi K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) (G. Alerts dan SS Santika, 1987) yang tujuannya untuk mengukur jumlah senyawa organik dalam air.

Prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Pada penelitian ini digunakan metode refluks

tertutup dimana prinsip nya ialah sampel yang telah direfluks tertutup selama 2 jam pada suhu 150 °C diukur jumlah oksidan nya dengan metode spektrofotometri.  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  akan kuat mengabsorbsi pada panjang gelombang 420 nm sedangkan  $\text{Cr}^{3+}$  pada 600 nm. Uji COD dengan metode refluks tertutup ini didasarkan pada SNI 6989.2:2009. Langkah – langkah dalam pengujian COD dalam metode refluks tertutup ialah sebagai berikut:

- Membuat Kurva Kalibrasi
  1. Membuat 1 blanko dan 3 deret kadar larutan kerja yang berbeda secara proporsional.
  2. Menghidupkan dan optimalkan spektrofotometer sesuai petunjuk penggunaan alat untuk pengujian COD. Atur panjang gelombangnya pada 600 nm atau 420 nm;
  3. Mengukur serapan masing-masing larutan kerja kemudian catat dan plotkan terhadap kadar COD;
  4. Membuat kurva kalibrasi dan tentukan persamaan regresi linear dengan batas toleransi: koefisien regresi linear  $(r) \geq 0,995$  atau koefisien determinasi  $(R^2) \geq 0,990$
- Pengujian COD
  1. Menghomogenkan sampel
  2. Pipet sampel sebanyak 2.5 ml ke dalam tabung untuk ukuran 16 x 100 mm lalu ditambahkan *digestion solution* sebanyak 1.5 ml dan pereaksi asam sulfat sebanyak 3.5 ml
  3. Refluks tertutup selama 2 jam dengan suhu 150 °C
  4. Dinginkan lalu ukur serapan pada panjang gelombang 600 nm dan 420 nm
  5. Hitung kadar COD dengan persamaan regresi linear dari kurva kalibrasi

### III.5.3 Uji Kandungan Lignoselulosa

Komponen utama dari biomassa lignoselulosa adalah lignin, selulosa, hemiselulosa, dan abu. Terdapat beberapa metode



pengukuran kandungan komponen biomassa lignoselulosa, salah satunya adalah metode yang dikemukakan oleh Chesson (Datta 1981) dengan sedikit modifikasi. Metode ini adalah analisis gravimetri setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Langkah-langkahnya ialah sebagai berikut:

1. Menganalisa kandungan hemiselulosa

Dengan Metode Chesson (Datta, 1981),

- i) Sampel sebanyak 1 gram dicampur dengan 150 ml aquadest
- ii) Dipanaskan pada suhu 100 °C selama 2 jam
- iii) Disaring dengan kertas saring dan dibilas dengan aquadest
- iv) Sampel kering kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C
- v) Timbang berat nya, catat menjadi berat (a)
- vi) Sampel tersebut kemudian dicampur dengan 150 ml larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N dan dipanaskan selama 1 jam pada suhu 100 °C
- vii) Disaring dengan kertas saring dan dibilas dengan aquadest
- viii) Sampel kering kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C
- ix) Timbang berat nya, catat menjadi berat (b)

$$\text{Kadar hemiselulosa} = \frac{(a) - (b)}{\text{berat sampel}} \times 100\%$$

2. Menganalisa kandungan selulosa

- i) Dari sampel (b), sampel kemudian dicampur dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% sebanyak 10 ml
- ii) Direndam selama 4 jam
- iii) Sampel tersebut kemudian dicampur dengan 150 ml larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 N dan dipanaskan selama 2 jam pada suhu 100 °C
- iv) Disaring dengan kertas saring dan dibilas dengan aquadest

v) Sampel kering kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C

vi) Timbang berat nya, catat menjadi berat (c)

$$Kadar\ selulosa = \frac{(b) - (c)}{berat\ sampel} \times 100\%$$

3. Menganalisa kandungan lignin

i) Dari sampel (c), sampel dipanaskan pada suhu 600 °C selama 6 jam

ii) Timbang beratnya menjadi berat (d)

$$Kadar\ lignin = \frac{(c) - (d)}{berat\ sampel} \times 100\%$$

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh suhu dan asam organik pada proses *pretreatment* eceng gondok agar terbentuk biogas yang optimum, serta perbandingan kuantitas biogas dan energi listrik yang dihasilkan dari eceng gondok biasa dengan eceng gondok yang di-*pretreatment*. Eceng gondok yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Kali di sekitar Kampus ITS, Surabaya. Hasil analisa komposisi organik awal eceng gondok yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel IV.1.

**Tabel IV.1.** Perbandingan Hasil Analisa Komposisi Organik Eceng Gondok

<b>Komponen Organik Eceng Gondok</b>	<b>Kadar (% dry biomass)</b>	<b>Kadar (% dry biomass) (Barua, 2017)</b>	<b>Kadar (% dry biomass) (Gunnarsson and Peterson, 2007)</b>	<b>Kadar (% dry biomass) (Nigam, 2002)</b>
Hemiselulosa	15.68	24.7	22	48.7
Selulosa	31.76	32.84	31	18.2
Lignin	4.38	6.33	7	3.5

Dari hasil analisa tersebut, komponen organik yang ditampilkan hanya hemiselulosa, selulosa serta lignin. Hemiselulosa dan selulosa merupakan komponen organik berupa polisakarida yang nantinya dapat dihidrolisis menjadi monomer-monomer gula (Wahyuni, 2011). Monomer gula inilah yang nantinya dapat dikonversikan menjadi biogas oleh bakteri-bakteri fermentasi. Total kadar yang belum 100% menunjukkan kadar sisanya berupa abu dan silika. Komposisi dari hasil analisa sedikit

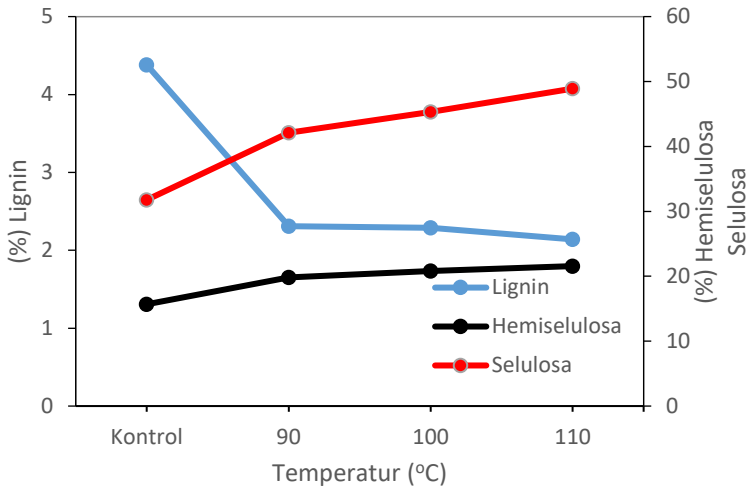
berbeda jika dibandingkan dengan hasil analisa jurnal sebelumnya. Hal ini dikarenakan kandungan organik yang ada pada eceng gondok tergantung dari asal habitat, iklim dan sebagainya. Eceng gondok tergolong memiliki persentase hemiselulosa dan selulosa yang tinggi (Harun, 2011). Sangat jauh dengan kandungan organik seperti jerami, tongkol jagung yang memiliki kandungan hemiselulosa dan selulosa yang tidak cukup tinggi namun kandungan lignin nya sangat tinggi. Dengan kandungan organik yang cukup tinggi inilah, eceng gondok sangat efektif jika digunakan sebagai umpan biogas (Barua, 2017), terlebih eceng gondok saat ini hanya menjadi gulma perairan tanpa pengolahan lebih lanjut. Namun, dengan adanya kandungan lignin membuat proses hidrolisis pada eceng gondok tidak berjalan efektif serta menghambat produksi biogas. Untuk itu, telah dilakukan studi pengaruh *pretreatment* fisik dan kimia terhadap kandungan lignoselulosa dan COD eceng gondok.

#### **IV.1 Pengaruh Metode *Pretreatment* terhadap Kandungan Lignoselulosa dan COD Eceng Gondok**

Pada eceng gondok terdapat lignin yang dapat menghambat bakteri untuk memproduksi biogas. Lignin merupakan material organik yang menyelimuti kandungan organik lainnya seperti hemiselulosa dan selulosa. Untuk memecah ikatan lignin tersebut dilakukan *pretreatment* secara fisik (thermal) dan kimia sehingga nantinya bakteri dapat menguraikan bahan organik secara optimal. Dalam *pretreatment* secara thermal ini digunakan 3 alat dengan prinsip kerja yang berbeda-beda antara lain *oven* (konduksi dan konveksi dengan media udara), *hot water bath* (konduksi dan konveksi dengan media air) dan *autoclave* (dikontakkan dengan *steam*).

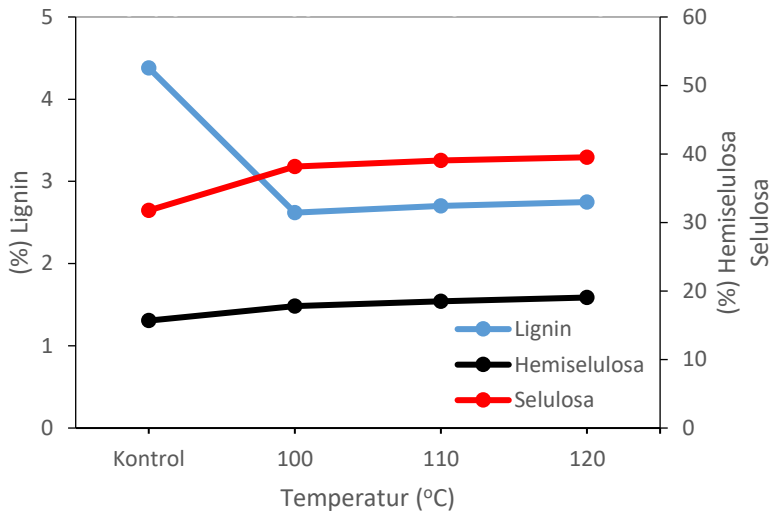
*Pretreatment* ini dilakukan dalam variasi temperatur yang berbeda-beda pula sesuai range optimumnya. *Pretreatment* dengan *oven* dan *autoclave* akan optimum pada range suhu 90 °C – 120 °C (Rafique et al., 2010; Ariunbaatar et al., 2014) sedangkan *hot water bath* pada suhu 70 °C – 90 °C (Li et al., 2007; Cho et al., 2013).

Gambar IV.1 hingga Gambar IV.3 menunjukkan pengaruh alat dan suhu terhadap kandungan lignin, selulosa dan hemiselulosa.



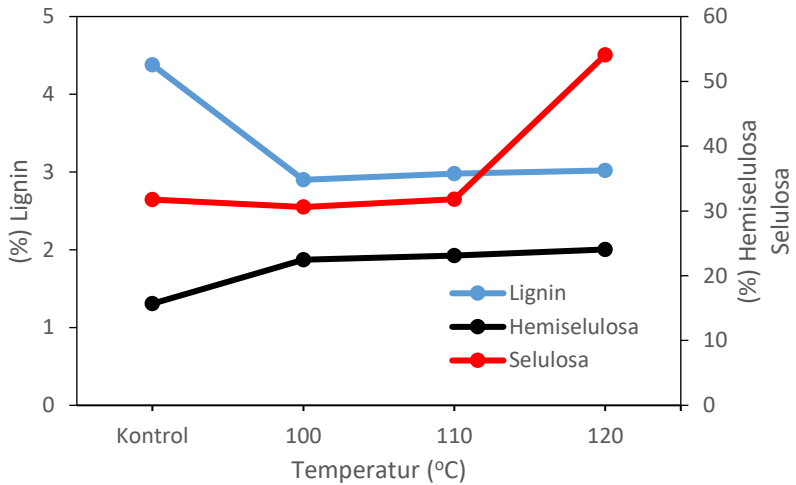
**Gambar IV.1.** Pengaruh *Pretreatment* dengan Menggunakan *Oven* terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

Pada Gambar IV.1 ditunjukkan bahwa kandungan lignin menurun dengan adanya *pretreatment* menggunakan *oven*. Seiring dengan kenaikan suhu, kandungan lignin menurun dari 4.38% menjadi 2.18% pada suhu 110°C. Kandungan lignin yang menurun ini menandakan bahwa *heat pretreatment* menggunakan *oven* memecah ikatan lignin secara efektif sehingga selulosa yang teranalisa lebih banyak dibanding kontrolnya (Barua, 2017). Dari Gambar IV.1 pun dapat dilihat bahwa kandungan hemiselulosa dan selulosa meningkat kandungannya dengan adanya *pretreatment* menggunakan *oven*. Kandungan hemiselulosa meningkat dari 15.68% menjadi 21.56% pada suhu 110 °C serta kandungan selulosa meningkat dari 31.76% menjadi 48.9% pada suhu 100 °C.



**Gambar IV.2.** Pengaruh *Pretreatment* dengan Menggunakan *Hot Water Bath* terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

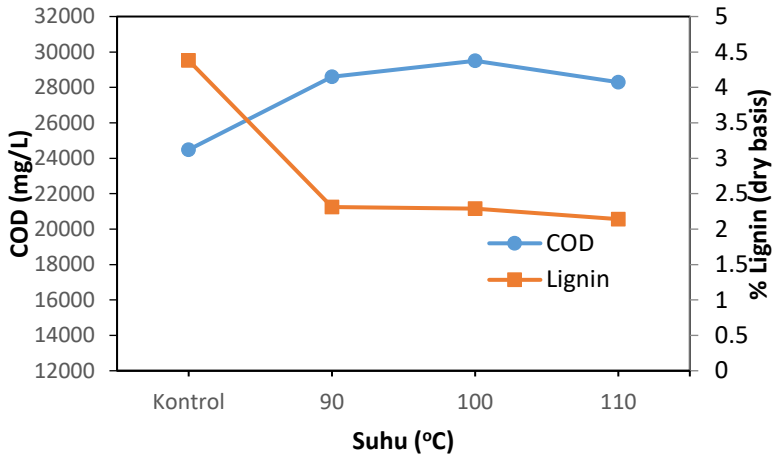
Sedikit berbeda pada Gambar IV.2, pada *heat pretreatment* menggunakan *hot water bath* kandungan lignin terendah berada pada suhu 70 °C yaitu 2.62%. Namun, kandungan lignin ini terus meningkat dengan kenaikan suhu hingga 90 °C. Berbanding terbalik dengan kandungan hemiselulosa dan selulosa nya yang meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Kandungan hemiselulosa dan selulosa tertinggi berada pada suhu 90 °C yaitu 19.05% dan 39.52%.



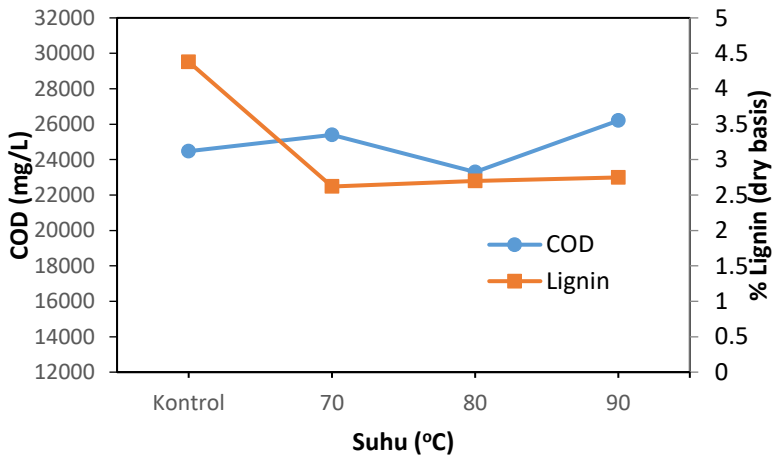
**Gambar IV.3.** Pengaruh *Pretreatment* dengan Menggunakan *Autoclave* terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

Tidak jauh berbeda dengan Gambar IV.2, pada Gambar IV.3 yaitu *heat pretreatment* dengan menggunakan *autoclave*, kandungan lignin terendah berada pada suhu 100 °C yaitu sebesar 2.98%. Kandungan tersebut cukup jauh berbeda jika dibandingkan dengan *oven* dan *hot water bath*. Untuk kandungan hemiselulosa dan selulosa meningkat seiring dengan kenaikan suhu, kandungan tertinggi nya berada pada *heat pretreatment* suhu 120 °C yaitu 24.05% dan 54.06%.

Selain dari kandungan lignoselulosa dianalisa juga kandungan COD dari berbagai macam sampel eceng gondok yang di *heat pretreatment* oleh *oven*, *hot water bath* dan *autoclave*. Gambar IV.4 hingga Gambar IV.6 menunjukkan pengaruh alat dan suhu terhadap kandungan COD eceng gondok.

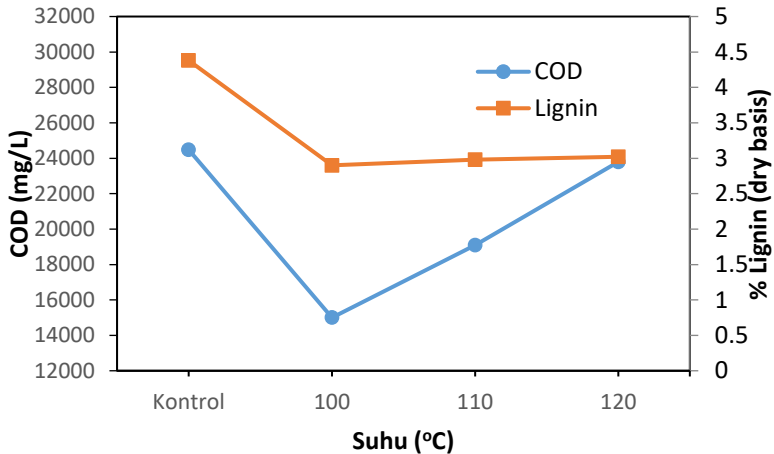


**Gambar IV.4.** Pengaruh *Pretreatment* Menggunakan Oven terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok



**Gambar IV.5.** Pengaruh *Pretreatment* Menggunakan Hot Water Bath terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok





**Gambar IV.6.** Pengaruh *Pretreatment* Menggunakan *Autoclave* terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok

Pada Gambar IV.4. menunjukkan bahwa *heat pretreatment* menggunakan *oven* dapat menaikkan kadar COD pada eceng gondok. Kadar COD meningkat hingga 29500 mgCOD/l pada suhu 100 °C, namun turun pada suhu 110 °C menjadi 28300 mgCOD/l. Penurunan kadar COD pada suhu tinggi ini disebabkan oleh hilangnya kadar *Volatile Fatty Acids* (VFA) akibat penguapan. Penguapan akan menyebabkan ikatan kimia pada dinding sel terganggu sehingga melepaskan komponen organik (VFA) (Appels et al, 2010). Selanjutnya, Gambar IV.5 menunjukkan *heat pretreatment* menggunakan *hot water bath* tidak memiliki efek yang signifikan terhadap kandungan COD eceng gondok. Kadar COD tertinggi terdapat pada suhu 90 °C yaitu 26200 mgCOD/l. Pada Gambar IV.6 menunjukkan bahwa *heat pretreatment* dengan menggunakan *autoclave* justru akan membuat kadar COD menurun. Pada suhu 100 °C, kadar COD dengan metode ini turun jauh menjadi 15000 mgCOD/l, lalu seiring dengan kenaikan suhu, kadar COD menjadi meningkat namun tidak lebih tinggi dengan kadar COD kontrol nya. Hal ini

disebabkan penguapan yang mengakibatkan hilangnya komponen organik seperti VFA.

Dari penjelasan Gambar IV.1 – Gambar IV.3, kandungan hemiselulosa dan selulosa meningkat seiring dengan menurunnya kandungan lignin. Hal ini dikarenakan proses delignifikasi, proses ini adalah pemecahan lignin sehingga struktur lignoselulosa terbuka dan selulosa serta hemiselulosa menjadi lebih mudah diakses oleh enzim yang memecah polisakarida menjadi monomer gula, proses ini dijelaskan pada gambar II.5 (Putra, 2014). Selain itu, dengan menurunnya kandungan lignin, maka kandungan organik pada eceng gondok maka kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi bahan organik juga meningkat

Penggunaan oven pada suhu 90-100°C selama satu jam dapat merusak ikatan kimia dari struktur kompleks lignoselulosa yang menyebabkan lepasnya ekstraseluler dan intraseluler dari biopolymer menuju fase solublenya. Optimasi yang didapatkan Barua (2017) adalah selama satu jam. (Amnuaycheewa, 2016).

Sedangkan untuk *autoclave* Barua (2017) melakukan penelitian pada suhu 90-120°C selama 20 menit terdapat fluktuasi jumlah COD. Untuk rentang waktu 20 – 60 menit juga terdapat fluktuasi jumlah COD. Optimasi yang didapatkan oleh Barua (2017) adalah pada suhu 90°C selama 40 menit. Pada penelitian ini digunakan waktu selama satu jam dan suhu 100-120°C sehingga menyebabkan waktu kontak steam bertekanan dengan biomassa lebih lama dan berakibat pada jumlah kadar organik yang hilang karena VFA (*Volatile Fatty Acid*) akan ikut teruapkan pada suhu diatas 100°C.

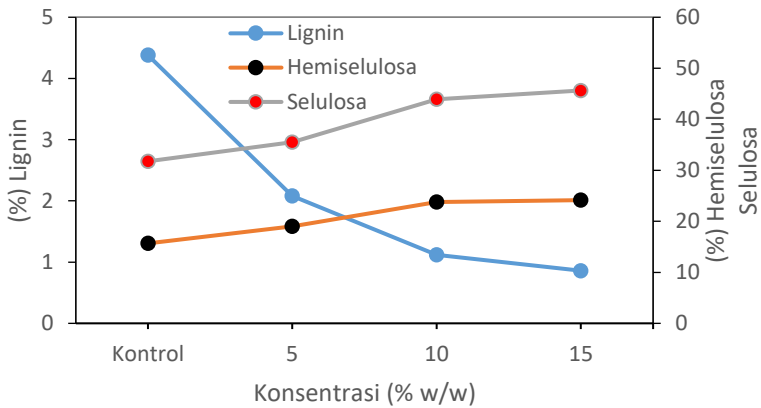
Untuk penggunaan *Hot Water Bath* diperlukan waktu lebih dari satu jam, yaitu 1.5 jam dengan suhu yang sama menurut Barua (2017). Hal ini agar air sebagai media pemanas dapat memanaskan konveksi secara merata dalam proses delignifikasi.

Dari hasil diatas, maka dipilihlah metode *heat pretreatment* yaitu dengan menggunakan oven 100 °C untuk persiapan tahap selanjutnya. Oven yang memiliki prinsip kerja

konduksi dan konveksi dengan media air ini terbukti dapat melarutkan lignin lebih efektif dibandingkan metode *pretreatment* yang lain (Barua, 2017). *Heat pretreatment* metode ini dapat menurunkan kadar lignin hampir 50% nya yaitu dari 4.38% hingga 2.29% lalu kadar COD pun meningkat dari 24480 mgCOD/l menjadi 29500 mgCOD/l sebagaimana ditunjukkan pada Gambar IV.1 dan Gambar IV.4

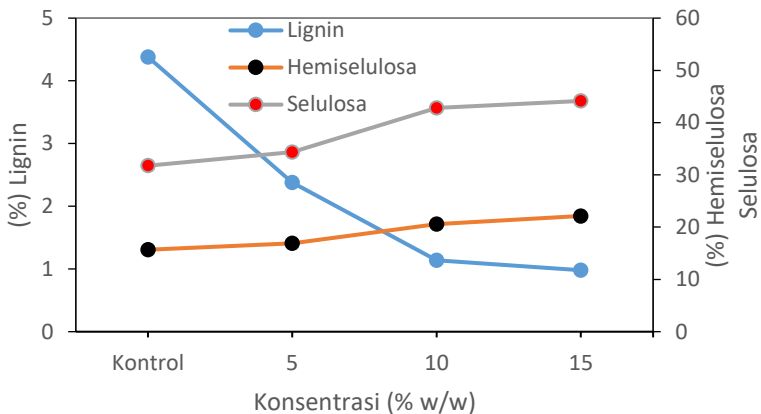
#### **IV.2 Pengaruh Metode *Pretreatment* Kombinasi dengan Asam Organik terhadap Kandungan Lignoselulosa dan COD Eceng Gondok**

Metode ini dilakukan dengan menggabungkan metode *heat pretreatment* terbaik yaitu menggunakan *oven* 100 °C dengan asam organik teknis. Asam organik yang digunakan adalah asam asetat ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), asam sitrat ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) dan asam oksalat ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ). Dasar pemilihan bahan kimia berupa asam organik ini adalah karena asam organik memiliki kemampuan hidrolisis yang efektif, produk yang terdegradasi lebih sedikit serta lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan asam inorganik (Amnuaycheewa, 2016). Variasi konsentrasi yang digunakan pada *pretreatment* ini adalah 5%, 10% dan 15% (w/w). Gambar IV.7 hingga Gambar IV.9 menunjukkan pengaruh *pretreatment* kombinasi suhu dan asam organik dengan kandungan lignoselulosa eceng gondok.



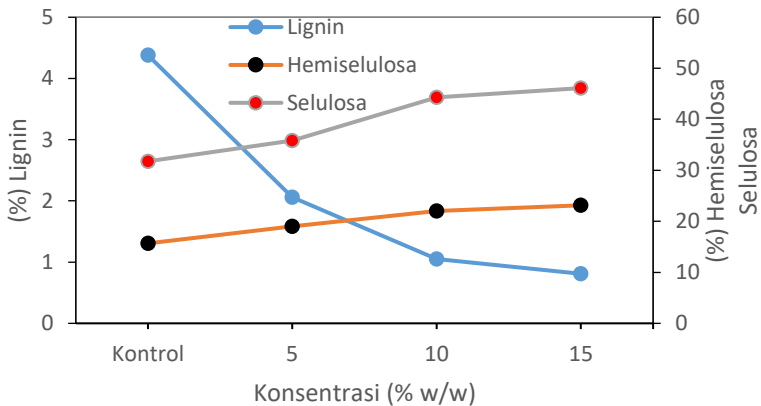
**Gambar IV.7.** Pengaruh *Pretreatment Oven* 100 °C dan Asam Asetat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

Pada Gambar IV.7 menunjukkan bahwa dengan *pretreatment oven* 100 °C dengan asam asetat dapat menurunkan kadar lignin hingga 0.86% pada konsentrasi asam 15% (w/w). Kenaikan konsentrasi ini berbanding terbalik dengan kadar lignin namun berbanding lurus dengan kadar hemiselulosa dan selulosa yang ada di eceng gondok. Kadar hemiselulosa dan selulosa berada pada konsentrasi 15% yaitu 24.15% dan 45.64%.



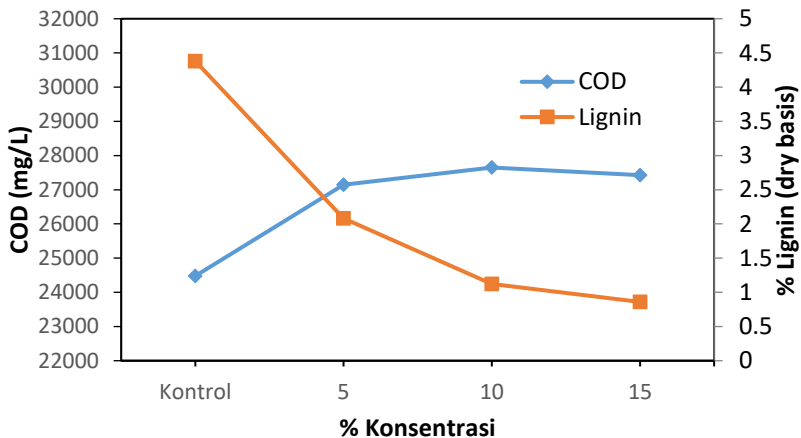
**Gambar IV.8.** Pengaruh *Pretreatment Oven* 100 °C dan Asam Sitrat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

Pada Gambar IV.8, *pretreatment oven* 100 °C menggunakan asam sitrat tidak jauh berbeda dengan asam asetat, metode ini dapat menurunkan kadar lignin hingga 0.98%. Pada Gambar tersebut juga menunjukkan seiring dengan kenaikan konsentrasi asam sitrat, maka kadar lignin akan menurun. Namun berbeda dengan kadar hemiselulosa dan selulosa yang berbanding lurus dengan konsentrasi asam sitrat. Pada *pretreatment oven* 100 °C dan asam sitrat, kadar hemiselulosa dan selulosa tertinggi berada pada konsentrasi 15% yaitu 22.14% dan 44.15%.

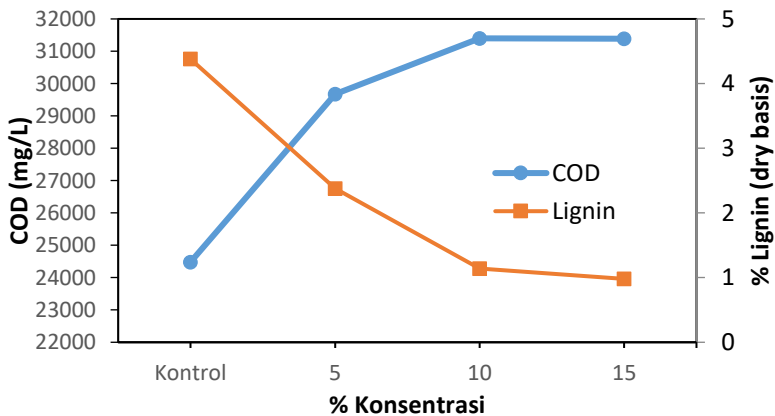


**Gambar IV.9.** Pengaruh *Pretreatment Oven* 100 °C dan Asam Oksalat terhadap Kandungan Lignoselulosa Eceng Gondok

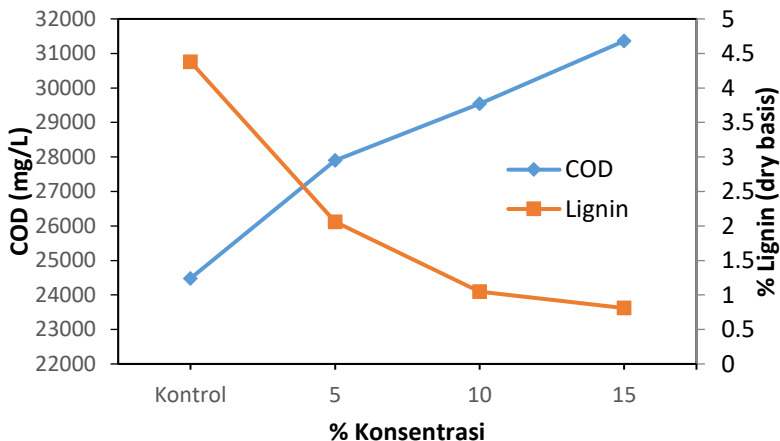
Selanjutnya, kadar lignin pun menurun pada Gambar IV.9. *Pretreatment oven* 100 °C dengan asam oksalat menurunkan kadar lignin seiring dengan kenaikan konsentrasi asam oksalat. Kadar lignin terendah berada pada kondisi *pretreatment* dengan konsentrasi 15% yaitu 0.81%. Kadar tersebut sangat rendah dibandingkan dengan hasil *pretreatment* kombinasi dengan asam yang lain. Kadar selulosa pada *pretreatment* ini juga tertinggi dibanding yang lain yaitu 46.11%. Gambar IV.10 hingga Gambar IV.12 menunjukkan pengaruh *pretreatment oven* 100 °C dan asam organik terhadap kadar COD eceng gondok.



**Gambar IV.10.** Pengaruh *Pretreatment Oven 100 °C* dan Asam Asetat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok



**Gambar IV.11.** Pengaruh *Pretreatment Oven 100 °C* dan Asam Sitrat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok



**Gambar IV.12.** Pengaruh *Pretreatment Oven* 100 °C dan Asam Oksalat terhadap Kandungan COD dan Lignin Eceng Gondok

Gambar IV.10 - IV.12. menunjukkan bahwa *pretreatment oven* 100 °C dengan asam organik dapat menaikkan kadar COD pada eceng gondok. Selain itu, seiring dengan kenaikan konsentrasi asam maka kandungan COD juga meningkat. Jika dibandingkan dengan eceng gondok yang hanya di *heat pretreatment* terlihat bahwa kandungan COD dengan metode *pretreatment* kombinasi memiliki kandungan lebih tinggi. Hal ini dikarenakan adanya tambahan asam organik yang berfungsi agar reaksi hidrolisis yang ada pada eceng gondok lebih efektif. Jika dibandingkan pada semua Gambar, kandungan COD tertinggi berada pada kondisi *pretreatment* kombinasi dengan asam sitrat 15% yaitu 31390 mgCOD/l.

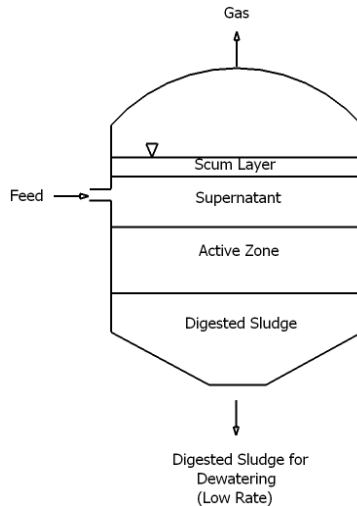
Berdasarkan penjelasan diatas dipilihlah *pretreatment* kombinasi dengan asam oksalat 15% sebagai metode *pretreatment* yang terbaik. Dibanding dengan asam lainnya, asam oksalat dapat menurunkan kandungan lignin lebih besar yaitu menjadi 0.86%. Selain itu, kandungan selulosa nya paling tinggi dibanding hasil *pretreatment* lainnya yaitu sebesar 46.11% walaupun kandungan hemiselulosa dan kadar COD nya hanya berbeda sedikit dibanding



metode *pretreatment* asam asetat 15% dan asam sitrat 15%. Amnuaycheewa (2016) juga menyebutkan bahwa *pretreatment* pada jerami dengan menggunakan asam oksalat memiliki *sugar yield* lebih tinggi serta kandungan lignin lebih rendah dibandingkan asam organik lainnya. Lalu, Mtui (2012) menyebutkan bahwa asam oksalat juga sangat bagus untuk *pretreatment* biomassa untuk meningkatkan efisiensi proses sakarifikasi khususnya dalam memproduksi ethanol. Asam Oksalat merupakan asam yang dapat meningkatkan digestibilitas selulosa dibandingkan asam asetat dan sitrat karena asam oksalat dapat membentuk gula (xylosa dan glukosa) yang tinggi. Selain itu pembentukan furfural yang merupakan inhibitor dari fermentasi sangat rendah (Sari, 2016).

#### **IV.3 Proses Produksi Biogas Menggunakan Umpan Eceng Gondok dengan *Pretreatment* dan Tanpa *Pretreatment* (Kontrol)**

Pada pembuatan biogas ini digunakan *Starter* yang berfungsi sebagai penghasil bakteri dalam fermentasi. *Starter* yang digunakan adalah kotoran sapi yang telah difermentasikan kedalam *Anaerobic digester* 600 liter. Kotoran sapi tersebut sebelumnya sudah diencerkan dengan air PDAM dengan menggunakan perbandingan kotoran sapi dan air 1:3. Untuk nutrisi *starter* ditambahkan urea sebanyak 2.5 kg yang bertujuan untuk menjaga rasio C/N *starter* tetap 25. Rasio C/N yang terlalu besar dapat mempengaruhi bakteri metanogen untuk cenderung menghasilkan amoniak dibanding gas metana. Dari kotoran sapi yang telah difermentasikan tersebut diambil bagian cairan supernatant nya.



**Gambar IV.13** Lapisan-lapisan dalam *Anaerobic Digester*

Cairan supernatant adalah cairan yang berada diantara *scum layer* dan *sludge* dengan kadar yang rendah. Cairan ini terbentuk akibat adanya separasi dari *slurry* karena perbedaan densitas dari material-materialnya, karena proses itu cairan supernatant banyak mengandung bakteri-bakteri yang dapat memfermentasikan umpan untuk dijadikan biogas (Marchaim, 1992).

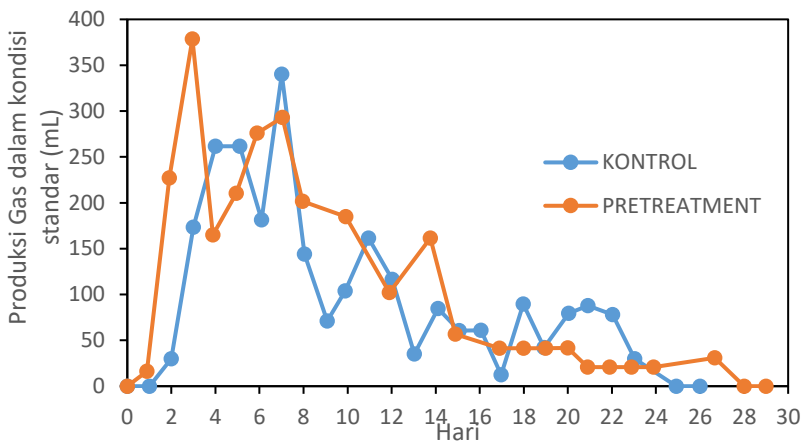
Produksi biogas dari eceng gondok yang di-*pretreatment* terbaik (*Oven* 100 °C dan Asam Oksalat 15%) dan tanpa *pretreatment* (kontrol) ini dilakukan dengan memasukkan umpan sebanyak 169.9425 gram (diencerkan menjadi 285 ml) dan HRT selama 7 hari atau setara dengan *load* sebesar 1.43 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari untuk variabel kontrol serta 1.83 kgCOD/m<sup>3</sup>.hari untuk variabel *pretreatment*. Eceng gondok untuk semua variabel sebelumnya direduksi terlebih dahulu ukurannya dengan menggunakan *blender* dengan campuran air : eceng gondok 4:1. Hal ini bertujuan agar nantinya proses hidrolisis dapat berjalan dengan lebih optimal, selain itu ditamabbkannya dengan air untuk memudahkan proses didalam *blender* nya. Selanjutnya, dilakukan analisa kadar COD

yang bertujuan untuk mengetahui potensi volume gas yang dihasilkan per satuan massa COD. Berikut merupakan data kandungan COD dari masing-masing variabel:

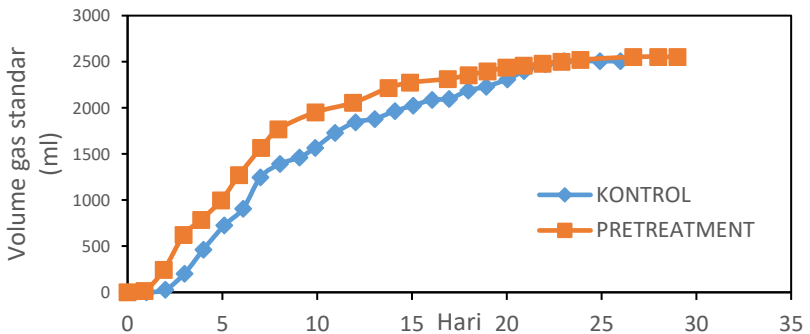
**Tabel IV.2** Kadar COD (mg COD/l) Awal Eceng Gondok, setelah pencampuran, dan setelah 25 hari fermentasi.

Variabel	Kadar COD Eceng Gondok			
	Awal	Sesaat setelah dimasukkan kedalam Reaktor (Eceng Gondok + Starter)	Setelah 25 hari fermentasi	% COD Removal
Tanpa Pretreatment (kontrol)	24480	2214	668	69.82
Pretreatment kombinasi (Oven 100 °C dan Asam Oksalat 15%)	31360	2446	228	90.67

Cairan supernatant dan Umpan eceng gondok kemudian dimasukkan ke dalam *anaerobic digester* berukuran 4 L dan difermentasikan selama  $\pm$  25 hari. Gambar IV.13 dan Gambar IV.14 menunjukkan data hasil produksi biogas dari eceng gondok dengan variabel kontrol dan *pretreatment* serta kumulatif gas nya per hari.



**Gambar IV.14** Laju Produksi Biogas Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment* dan *Pretreatment* Oven 100 °C dan Asam Oksalat 15%



**Gambar IV.15** Kumulatif Pembentukan Biogas dari Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment* dan *Pretreatment* Oven 100 °C dan Asam Oksalat 15%

Dari Gambar IV.13 dapat terlihat bahwa biogas dengan variabel tanpa *pretreatment* terbentuk maksimal pada hari ke 2 hingga ke 12. Untuk hari selanjutnya, produksi biogas terlihat lebih rendah dan mulai tidak memproduksi pada hari ke 25. Selain itu,

untuk variabel *pretreatment* terlihat bahwa pembentukan biogas maksimal pada hari ke 2 hingga ke 14 dan menurun sampai tak terbentuk gas lagi pada hari ke 28. Produksi biogas yang naik-turun ini disebabkan oleh kondisi cuaca yang berubah-ubah tiap harinya. Cuaca dan suhu pada lingkungan yang lebih rendah dari biasanya seperti hujan menyebabkan produksi biogas menjadi lebih rendah (Al Seadi, 2008). Selain itu, produksi biogas eceng gondok yang di *pretreatment* lebih tinggi dibandingkan tanpa *pretreatment*. Terlihat juga bahwa % COD *removal* yang terjadi pun lebih besar dari yang tanpa *pretreatment*. Hal ini membuktikan bahwa dengan adanya *pretreatment*, tidak hanya kandungan hemiselulosa dan selulosa yang menjadi lebih tinggi namun proses hidrolisis menjadi lebih optimal sehingga biogas yang terbentuk juga lebih cepat dan banyak.

Dari pembuatan biogas ini dihasilkan yield biogas untuk *feed* tanpa *pretreatment* yaitu 2506.25 mL/*total mass of slurry* atau dikonversikan menjadi 368.6541 L/kg VS. Kemudian, untuk *yield* biogas dengan *feed* yang di *pretreatment* kombinasi adalah 2553.2 mL/*total mass of slurry* atau dikonversikan menjadi 375.658 L/kg VS. Hal ini memperkuat bukti bahwa dengan adanya *pretreatment* *yield* biogas yang dihasilkan akan lebih banyak dibanding dengan tanpa adanya *pretreatment*. Menurut O'Sullivan et al (2010) potensi eceng gondok untuk menghasilkan biogas adalah 200 – 400L biogas/kg VS. Lalu dalam penelitian selanjutnya didapatkan *yield* biogas yang berbeda-beda yaitu 552 L/kg VS (Matthew, 2014) dan 267 L/kg VS (O'Sullivan, 2010). *Yield* yang berbeda-beda ini menunjukkan bahwa pembuatan biogas tergantung dari jenis eceng gondok yang digunakan (habitat berpengaruh), nutrisi yang diberikan, serta efisiensi reaktor yang digunakan. Tabel IV.3 menunjukkan komposisi biogas dari masing-masing variabel.

**Tabel IV.3** Kadar Biogas dari Eceng Gondok Tanpa  
*Pretreatment* dan *Pretreatment Oven 100 °C dan Asam Oksalat*  
15%

<b>Komponen</b>	<b>Kadar Biogas Tanpa <i>Pretreatment</i> (%mol)</b>	<b>Kadar Biogas <i>Pretreatment Oven 100</i> °C dan Asam Oksalat 15% (%mol)</b>
CH <sub>4</sub>	60.34	53.15
CO <sub>2</sub>	39.65	46.84

Dari Tabel IV.3 didapatkan hasil kandungan CH<sub>4</sub> kontrol lebih besar dibandingkan pretreated. Menurut Amnuaycheewa (2016), keefektifan *anaerobic digester* dinilai dari % COD *removal*nya dan yield biogasnya.

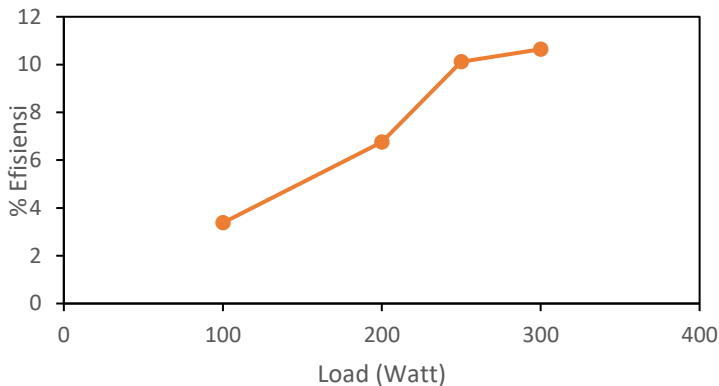
Pada data *pretreated* didapatkan COD *removal* 90.67%. Dapat dilihat bahwa proses ini begitu efisien jika dibandingkan dengan biomasa jerami dengan penambahan asam oksalat 15%, hanya didapatkan COD *removal* sebesar 68.63% selama 45 hari (Amnuaycheewa, 2016), biomassa Eceng Gondok tanpa pretreatment COD *removal*nya sebesar 66% selama 60 hari (Anil Kuruvilla, 2014), sedang Eceng Gondok dengan penambahan asam oksalat 15% disertai pemanasan oven 100°C memiliki COD *removal* yang lebih besar dalam waktu yang cukup besar yaitu 90.67% dalam waktu 20 hari. Terjadi proses penguraian senyawa yang hamper sempurna dengan waktu yang cukup singkat.

Selanjutnya ditinjau dari parameter yield, dengan data penelitian sebelumnya (O'Sullivan, 2010) didapatkan yield Eceng Gondok sebesar 267 L biogas/ kg VS, sedangkan pada proses pretreatment ini menghasilkan yield 376 L/kg VS.

#### **IV.4 Biaya *Pretreatment* serta Pengujian Hasil Biogas sebagai Umpan Generator Menggunakan *Load Bank Test***

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui beban optimal yang dapat menghasilkan efisiensi maksimum generasi listrik. Untuk itu, biogas telah dihasilkan diuji dengan gas metana sebagai

pembanding. Generator yang digunakan memiliki spesifikasi 600 Watt.



**Gambar IV.16** Gambar Hasil *Load Bank Test* Biogas Tanpa *Pretreatment* dengan Generator 600 Watt

Dengan generator 600 Watt ini beban maksimal yang dapat dicapai adalah 300 Watt dengan efisiensi 10.64%, maka potensi listrik yang dapat dihasilkan adalah 82 Wh. *Load* optimal serta potensi listrik yang dihasilkan biogas masih cukup jauh dibandingkan dengan metana murni karena *heating value* biogas yang lebih kecil, yaitu 597 Btu/scf dibanding metana murni sebesar 1016 Btu/scf, hal ini menunjukkan bahwa purifikasi biogas dibutuhkan agar generasi listrik yang dihasilkan bisa lebih maksimal. Selain itu, dibutuhkan gas generator dengan spesifikasi khusus untuk biogas agar efisiensi yang dihasilkan juga lebih maksimal.

Dari perhitungan didapatkan bahwa biaya operasional untuk pretreatment ini adalah:

**Tabel IV.4** Biaya operasional *pretreatment* Eceng Gondok (Basis 1 kg Eceng Gondok)

Komponen	Jumlah	Biaya (Rp)	Total Biaya (Rp)
Eceng Gondok	1 kg	0	0
Asam Oksalat	13 gram	39000/kg	585
Biaya operasi <i>oven</i>	400 Watt, 1 jam	1400/kwh	560
Biaya operasi <i>compressor</i>	0.07 kwh	1400/kwh	98
Total Biaya			1243



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### V.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengembangan metode *pretreatment* melalui proses fisik dan kimia untuk optimasi produksi biogas dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai alternatif energi listrik-biogas, dapat disimpulkan bahwa :

1. Proses *pretreatment* menggunakan alat *oven*, *hot water bath*, dan *autoclave* dapat menurunkan kandungan lignin serta menaikkan kandungan hemiselulosa, selulosa dan kadar COD, proses *pretreatment* terbaik dihasilkan oleh *pretreatment* menggunakan *oven* dengan suhu 100 °C selama 1 jam.
2. Proses *pretreatment* kombinasi suhu dan asam organik dapat menurunkan kandungan lignin serta menaikkan kandungan hemiselulosa, selulosa dan kadar COD lebih baik dibandingkan dengan proses *pretreatment* dengan suhu saja, proses *pretreatment* terbaik dihasilkan oleh *pretreatment* menggunakan *oven* dengan suhu 100 °C serta asam oksalat 15% (w/w) selama 1 jam.
3. Kuantitas produksi biogas yang dihasilkan oleh eceng gondok dengan proses *pretreatment* kombinasi (*oven* dengan suhu 100 °C serta asam oksalat 15% (w/w) selama 1 jam) lebih tinggi yaitu 375.68 L/kg VS daripada produksi biogas oleh eceng gondok tanpa proses *pretreatment* yaitu 368.654 L/kg VS.
4. Biaya proses *pretreatment* (*oven* dengan suhu 100 °C serta asam oksalat 15% (w/w) selama 1 jam) eceng gondok adalah Rp. 1243 untuk menghasilkan potensi listrik sebesar 300 Watt dengan efisiensi 10.64%.

## V.2 Saran

1. Memodifikasi alat dengan menambahkan *flowmeter* compressor menuju ke gas generator untuk mengetahui volume yang dibutuhkan untuk menjalankan generator listrik
2. Mengatur tekanan luaran yang konstan dari kompresor gas menuju gas generator.
3. Dilakukan pengujian generasi listrik dengan memperhatikan *gas generator* yang memiliki spesifikasi khusus untuk biogas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amnuaycheewa, P., R. Hengaroonprasan., K. Rattanaporn, et al. 2016. “*Enhancing enzymatic hydrolysis and biogas production from ricestraw by pretreatment with organic*”. Industrial Crops and Products 87:247–254.
- Barua, Visva Bharati., Ajay S. Kalamdhad. 2017. “*Effect of various types of thermal pretreatment techniques on the hydrolysis, compositional analysis and characterization of water hyacinth*”. Bioresource Technology 227 (2017) 147–154
- L., Tao., A. Aden., R. T. Elander et al. 2011. “*Process and technoeconomic analysis of leading pretreatment technologies for lignocellulosic ethanol production using switchgrass*”. Bioresource Technology, vol. 102, no. 24, pp. 11105–11114.
- Lucas, Sughezzo. 2004. “*Anaerobic Treatment of Domestic Wastewater in Subtropical Regions*”. Thesis Wageningen University, Netherlands.
- M., Pedersen, K. S. Johansen, and A. S.Meyer. 2011. “*Low temperature lignocellulose pretreatment: effects and interactions of pretreatment pH are critical for maximizing enzymatic monosaccharide yields from wheat straw*”. Biotechnology for Biofuels, vol. 4, article 11
- Mathew, A.K., dkk. 2014. “*Biogas production from locally available aquatic weeds of Santiniketan through anaerobic digestion*”. Berlin: Springer-Verlag.
- Nigam, J.N. 2002. “*Bioconversion of water-hyacinth (Eichhornia crassipes) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast*”. Journal of Biotechnology 97 (2002): 107–116
- Osvaldo Z. S., Panca Putra S., M. Faizal. 2012. ” Pengaruh Konsentrasi Asam Dan Waktu Pada Proses Hidrolisis Dan

- Fermentasi Pembuatan Bioetanol Dari Alang-Alang”. Palembang: Jurnal Teknik Kimia No. 2, Vol. 18
- Ofoefule, A.U., Uzodinma E.O. 2008. “*Effect of Chemical and Biological treatment on Pre-decayed field grass (Panicum maximum) for biogas production*”. Niger. J. Solar Energy. 19: 57 – 62.
- Schell, D., Harwood C. 1994. “*Milling of lignocellulosic biomass*”. Applied Biochemistry and Biotechnology 45–46, 159–168.
- Scheller, H.V., Ulvskov P. 2010. “*Hemicellulose*”. Annual Review of Plant Biology Vol.61
- Yonathan, A., A.R. Prasetra, B. Pramudono. 2013. “Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*): Kajian Konsistensi dan pH terhadap Biogas yang Dihasilkan”. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri Vol. 2 (2): 211-215

# **APPENDIKS A** **DATA HASIL PENELITIAN**

**Tabel A.1** Data Produksi Biogas per Hari dengan *feed* Eceng Gondok Tanpa *Pretreatment*

Hari	Waktu	Tinggi Gas Holder (cm)					Suhu (°C)	$\Delta h$ (cmH <sub>2</sub> O)
		1	2	3	4	Rata-rata		
0	15:30	0	0	0	0	0	29	0
1	15:30	0	0	0	0	0	29	0
2	15:30	0.6	0.7	0.8	0.8	0.725	29	2.5
3	15:30	4.3	5.2	5	5.2	4.925	29	2.3
4	15:30	11.1	11.2	11.2	11.5	11.25	29	3.6
5	18:00	17	17.5	18	17.9	17.6	30	3.6
6	17:45	22	22.3	21.7	22.1	22.025	32	5
7	15:45	30.7	30.3	29.7	30.6	30.325	32	5

8	16:30	34.7	33	32.7	34.9	33.825	31	5
9	17:15	36.5	35.3	34.3	36.1	35.55	30	5.4
10	13:00	38.9	37.4	37.5	38.5	38.075	31	5
11	14:17	42.8	41.4	41.1	42.7	42	31	5
12	16:00	45.6	44.4	43.8	45.5	44.825	30	5
13	16:00	46.7	45.2	44.1	46.7	45.675	29	6
14	16:20	48.5	47.2	46.8	48.4	47.725	30	5.4
15	17:55	49.6	48.8	48.3	50.1	49.2	31	5.4
16	17:00	51.4	49.4	50.5	51.4	50.675	30	5.2
17	17:00	51.6	50.3	50.5	51.5	50.975	31	5.2
18	14:45	53.8	52.2	53	53.6	53.15	31	7
19	14:50	54.9	53.3	53.9	54.6	54.175	31	5.2
20	13:30	57	55	55.9	56.5	56.1	30.5	7
21	16:30	59.1	57.1	58.2	58.5	58.225	31	8

Hari	Waktu	Tinggi Gas Holder (cm)					Suhu (°C)	$\Delta h$ (cmH <sub>2</sub> O)
		1	2	3	4	Rata-rata		
22	13:25	61.2	59.1	59.7	60.5	60.125	31	5.6
23	16:15	61.5	60.2	60.6	61.1	60.85	31	9
24	16:15	61.5	60.2	60.6	61.1	60.85	31	6
25	16:30	61.5	60.2	60.6	61.1	60.85	31	6
26	16:45	61.5	60.2	60.6	61.1	60.85	31	6

**Tabel A.2** Data Produksi Biogas per Hari dengan *feed* Eceng Gondok dengan *Pretreatment* kombinasi *Oven* 100 °C dan Asam Oksalat 15%

Hari	Waktu	Tinggi Gas Holder (cm)					Suhu (°C)	$\Delta h$ (cmH <sub>2</sub> O)
		1	2	3	4	Rata-rata		
0	17:30	0	0	0	0	0	30	0
1	15:00	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	30	0
2	15:25	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	29.5	4
3	16:30	15.1	15.1	15.1	15.1	15.1	31	5.8
4	14:45	19	19.2	19.1	19.1	19.1	31	7.4
5	16:05	24.1	24.2	24.2	24.3	24.2	30	5
6	15:05	30.7	31	30.9	31	30.9	31	6.4
7	18:30	37.8	38.1	38	38.1	38	31	8.6
8	16:30	42.6	43	43	43	42.9	31	6
10	15:40	47.1	47.5	47.4	47.5	47.375	31.5	11
12	15:00	49.6	50	49.9	49.9	49.85	31	6.6



14	11:50	53.5	53.9	53.8	53.8	53.75	29.5	6.6
15	15:00	54.8	55.3	55.2	55.2	55.125	31	6.2
17	15:00	55.8	56.3	56.2	56.2	56.125	30	6.4
18	15:00	56.8	57.3	57.2	57.2	57.125	30	7.4
19	15:00	57.8	58.3	58.2	58.2	58.125	30	8
20	15:00	58.8	59.3	59.2	59.2	59.125	28	11
21	15:00	59.3	59.8	59.7	59.7	59.625	30	11
22	15:00	59.8	60.3	60.2	60.2	60.125	30	12
23	15:00	60.3	60.8	60.7	60.7	60.625	31	12
24	15:00	60.8	61.3	61.2	61.2	61.125	30.5	12.6
27	10:00	61.55	62.05	61.95	61.95	61.875	31	12
28	17:30	61.55	62.05	61.95	61.95	61.875	31	12
29	17:30	61.55	62.05	61.95	61.95	61.875	31	12

**Tabel A.3** Hasil *Load Bank Test* Menggunakan Biogas dan Metana Murni dengan Gas Generator 1200 Watt

Gas	Load (Watt)	Waktu (jam)	Volume Gas (cm <sup>3</sup> )	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Power (Watt)	Energy Out (Wh)
Metana Murni	100	0,260	134283.13	225	0,43	98,5	38
	200	0,256	134283.13	226	0,87	198,5	50
	300	0,290	134283.13	227	1,32	299,7	87
	350	0,290	134283.13	228	1,45	352,4	101
	400	0,287	134283.13	228	1,76	399,85	115
	450	0,281	134283.13	228	1,99	443,3	126
	500	0,266	134283.13	229	2,2	505,1	134
	550	0,264	134283.13	227	2,42	549,7	144
	600	0,255	134283.13	228	2,625	600,5	156
	700	0,227	134283.13	228,5	3,065	698,85	164

Biogas	25	0.172	86324.87	225	0,11	24,8	6
	50	0.181	86324.87	225	0,21	49,7	9
	100	0.208	95916.52	205	0,4	83	17
	150	0.091	52754.09	190	0.6	118	11

**Tabel A.4** Hasil *Load Bank Test* Menggunakan Biogas dengan Gas Generator 600 Watt

Gas	Load (Watt)	Waktu (jam)	Volume Gas (cm <sup>3</sup> )	Energy Out (Wh)
Biogas	100	0.045	19183.30	4
	200	0.010	4795.83	2
	250	0.027	9591.65	6
	300	0.257	124691.48	82

## APPENDIKS B PERHITUNGAN

### 1. Perhitungan *feed* (Umpan masuk) per hari

$$\begin{aligned}\text{Ditentukan: Load} &= 1.43 \text{ kgCOD/m}^3.\text{hari} \\ &= 1.43 \times 10^{-3} \text{ kgCOD/l.hari}\end{aligned}$$

$$\text{Diketahui : Volume } feed \text{ yang diinginkan} = 2000 \text{ ml} = 2 \text{ l}$$

$$\begin{aligned}\text{Kadar COD}_{in} \text{ yang diinginkan} &= 10000 \text{ mgCOD/l} \\ &= 0.01 \text{ kgCOD/l}\end{aligned}$$

$$\text{Load} = \frac{COD_{in} \times Volume_{feed\ in}}{Volume_{feed}}$$

$$\text{Maka, } feed\ in = 0.285 \text{ l/hari} = 285 \text{ ml/hari}$$

$$\text{HRT} = \frac{Volume\ feed\ yang\ diinginkan}{feed\ in}$$

$$\text{Jadi, HRT} = 7 \text{ Hari}$$

### - Kebutuhan Eceng Gondok per hari (*Feed Tanpa Pretreatment*)

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

Diketahui :

$$M_1 : \text{Konsentrasi COD}_{Eceng\ Gondok\ awal} = 24480 \text{ mgCOD/l}$$

$$M_2 : \text{Konsentrasi COD}_{in} = 10000 \text{ mgCOD/l}$$

$$V_2 : \text{Volume } feed\ in = 0.285 \text{ l}$$

$$V_1 = \frac{M_2 V_2}{M_1}$$

$$V_1 = \frac{10000 \times 0.285}{24480}$$

$$V_1 = 0.1164 \text{ l} = 116.4 \text{ ml}$$

- **Kebutuhan Eceng Gondok per hari (*Feed* dengan *Pretreatment* Kombinasi *Oven* 100 °C dan Asam Oksalat 15% w/w)**

Dengan menetapkan  $V_1$  yang sama dengan kebutuhan eceng gondok tanpa *pretreatment*, maka

$$M_1 V_1 = M_2 V_2$$

Diketahui:

$M_1$  : Konsentrasi COD<sub>Eceng Gondok awal</sub> = 31360 mgCOD/l

$V_1$  : Volume Eceng Gondok yang dibutuhkan = 0.1164 l

$V_2$  : Volume *feed in* = 0.285 l

$$M_2 = \frac{M_1 V_1}{V_2}$$

$$M_2 = \frac{31360 \times 0.11641}{0.285}$$

$$M_2 = 12810,5 \text{ mgCOD/l}$$

Dapat dicari *load* untuk *feed pretreatment*

$$\text{Load} = \frac{\text{COD}_{in} \times \text{Volume}_{feed in}}{\text{Volume}_{feed}}$$

$$\text{Load} = \frac{12810,5 \times 0.285}{2}$$

$$\text{Load} = 1825.5 \text{ mgCOD/l.hari}$$

$$\text{Load} = 1.8255 \text{ kgCOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

## 2. Konversi gas ke dalam Kondisi *Standard* (1 atm, 273.15 K)

Diketahui : Diameter *gas holder* = 3 in  
= 7.62 cm

$$T_0 = 273.15 \text{ K}$$

$$P_0 = 1 \text{ atm} = 101325 \text{ N/m}^2 \\ = 1033.22 \text{ cmH}_2\text{O}$$

Berikut merupakan cuplikan data Hari ke 5 dan 6:

1	2	3	4	T (K)	$\Delta h$ (cmH <sub>2</sub> O)
17	17,5	18	17,9	303,15	3,6
22	22,3	21,7	22,1	305,15	5

- **Menghitung Luas Permukaan Gas Holder**

$$Luas\ Permukaan\ Gas\ Holder = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Luas\ Permukaan\ Gas\ Holder = \frac{\pi \times 7.62^2}{4}$$

$$Luas\ permukaan = 45.58\ cm^2$$

- **Menghitung Volume Gas Hari ke 6 (V<sub>6</sub>)**

$$\begin{aligned} &Tinggi\ rata - rata\ hari\ ke\ 5\ (h_5) \\ &= \frac{(1) + (2) + (3) + (4)}{4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &Tinggi\ rata - rata\ hari\ ke\ 5\ (h_5) \\ &= \frac{17 + 17.5 + 18 + 17.9}{4} \end{aligned}$$

$$Tinggi\ rata-rata\ hari\ ke\ 5\ (h_5) = 17.6\ cm$$

$$Tinggi\ rata-rata\ hari\ ke\ 6\ (h_6) = 22.025\ cm$$

$$\Delta h = h_6 - h_5$$

$$\Delta h = 22.025 - 17.6$$

$$\Delta h = 4.425\ cm$$

Maka, volume nya adalah

$$V = \Delta h \times Luas\ Permukaan\ Gas\ Holder$$

$$V = 4.425 \times 45.58$$

$$V_6 = 201.694\ cm^3 = 201.694\ ml$$

- **Menghitung Tekanan ( $P_6$ )**

$$P_6 = P_0 + \left( \frac{\Delta h (cmH_2O)}{1.033} \times P_0 \right)$$

$$P_6 = 101325 + \left( \frac{5}{1033.22} \times 101325 \right)$$

$$P_6 = 101825 \text{ N/m}^2$$

- **Menghitung Volume Standar ( $V_{std6}$ )**

$$\frac{P_0 V_{std6}}{T_0} = \frac{P_6 V_6}{T_6}$$

$$V_{std6} = \frac{P_6 V_6 T_0}{T_6 P_0}$$

$$V_{std6} = \frac{101825 \times 201.694 \times 273.15}{305.15 \times 101325}$$

$$V_{std6} = 181.417 \text{ cm}^3$$

### 3. Perhitungan untuk Mencari Efisiensi Generator Listrik

Diketahui :  $R = 83.14 \text{ cm}^3 \cdot \text{bar/mol K}$   
 $P_0 = 1 \text{ bar}$   
 $T_0 = 60^\circ \text{F} (288.706 \text{ K})$   
 $V_{\text{kompresor}} = 20143 \text{ cm}^3$   
 $T_{\text{kompresor}} = 86^\circ \text{F} (303.15 \text{ K})$

*Heating Value* Biogas = 597.08 btu/scf

*Heating Value* Metana Murni (99%) = 1016.14 btu/scf

1  $\text{cm}^3$  =  $3.53 \times 10^{-5}$  cu ft

1 l = 0.0353 cu ft

1 btu = 0.293 wh

Berikut merupakan data uji *load bank test* untuk gas metana murni dengan beban 200 Watt

Waktu (jam)	$\Delta P$ (bar)	Tegangan (Volt)	Arus (Amper)	Powerr (Watt)	Energy out (Wh)
0.256	7 → 0	226	0.87	198.5	50

- Mencari Volume standar

$$\frac{P_0 V_{std} 200 W}{T_0} = \frac{P_{awal} V_{kompresor}}{T_{kompresor}}$$

$$V_{std} 200 W = \frac{P_{awal} V_{kompresor} T_0}{T_{kompresor} P_0}$$

$$V_{std} 200 W = \frac{7 \times 20143 \times 288.706}{303.15 \times 1}$$

$$V_{std} 200 W = 134283.13 \text{ cm}^3$$

$$V_{std awal} 200 W = 4.742 \text{ scf}$$

Dengan cara yang sama, mencari  $V_{std akhir} 200 W$  dengan  $P_{akhir} = 0 \text{ bar}$ , maka

$$V_{std akhir} 200 W = 0 \text{ scf}$$

Jadi,

$$V_{std} 200 W = 4.742 \text{ scf}$$

- Menghitung Energi yang Masuk

$$Energy in = V_{std} 200 W \times \text{Heating Value}$$

$$Energy in = 4.742 \text{ scf} \times 1016.14 \text{ btu/scf}$$

$$Energy in = 4818.707 \text{ btu}$$

$$Energy in = 1412.22 \text{ Wh}$$

- Menghitung Efisiensi Generator Listrik

$$Energy out = V \times I \times t$$

$$Energy out = 226 \times 0.87 \times 0.256$$

$$Energy out = 50 \text{ Wh}$$

$$\%Eff = \frac{Energy out}{Energy in} \times 100\%$$



$$\%Eff = \frac{50}{1412.22} \times 100\%$$

$$\%Eff = 3.54\%$$

#### 4. Menghitung Yield Biogas

##### - COD Removal

$$\text{Volume}_{\text{substrat}} = 1.8 \text{ l} + 2 \text{ l} = 3.8 \text{ l}$$

##### - **Kontrol (tanpa pretreatment)**

$$\text{COD}_{\text{awal}} = 2214 \text{ mgCOD/l}$$

$$\text{COD}_{\text{akhir}} = 668 \text{ mgCOD/l}$$

$$\text{COD}_{\text{removal}} = (\text{COD}_{\text{awal}} - \text{COD}_{\text{akhir}}) \times$$

$$\text{Volume}_{\text{substrat}}$$

$$= (2214 - 668) \times 3.8$$

$$= 5874.8 \text{ mgCOD}_{\text{removal}}$$

$$\text{Volume Kumulatif Gas} = 2506 \text{ ml}$$

$$\text{Yield} = \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{COD removal}}$$

$$= \frac{2506 \text{ ml}}{5874.8 \text{ mgCOD}}$$

$$= 0.426 \text{ ml/mgCOD}$$

$$= 0.426 \text{ m}^3/\text{kgCOD}$$

##### - **Pretreatment**

$$\text{COD}_{\text{awal}} = 2446 \text{ mgCOD/l}$$

$$\text{COD}_{\text{akhir}} = 228 \text{ mgCOD/l}$$

$$\text{COD}_{\text{removal}} = (\text{COD}_{\text{awal}} - \text{COD}_{\text{akhir}}) \times$$

$$\text{Volume}_{\text{substrat}}$$

$$= (2446 - 228) \times 3.8$$

$$= 8428.4 \text{ mgCOD}_{\text{removal}}$$

$$\text{Volume Kumulatif Gas} = 2553 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} &= \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{COD removal}} \\
 &= \frac{2553 \text{ ml}}{8428.4 \text{ mgCOD}} \\
 &= 0.303 \text{ ml/mgCOD} \\
 &= 0.303 \text{ m}^3/\text{kgCOD}
 \end{aligned}$$

### **- Feed**

#### **Kontrol (tanpa pretreatment)**

Feed dimasukkan ke reaktor 117 ml/hari / 97.11 gram/hari

Densitas bubur Eceng Gondok = 0.83 ml/gram

Yield dalam *Feed* basah

$$\begin{aligned}
 \text{Massa Eceng Gondok dalam bubur (1:4)} &= \frac{1}{4} \times 97.11 \\
 &= 24.2775 \text{ gram/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total feed selama 7 hari} &= 24.2775 \text{ gram/hari} \times 7 \text{ hari} \\
 &= 169.9425 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Volume Kumulatif Gas = 2506 ml

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} &= \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{Total feed}} \\
 &= \frac{2506 \text{ ml}}{169.8423 \text{ gram}}
 \end{aligned}$$

$$= 14.746 \text{ ml/gram}$$

$$= 14.746 \text{ l/kg}$$

Yield dalam *Volatile Solid* (VS)

Kandungan (dalam persen massa) Eceng Gondok 95% air, 5% *Total Solid* (TS). *Volatile Solid* (VS) (80% dari TS) 4%.

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{VS}} \\ &= \frac{2506 \text{ ml}}{4\% \times 169.8423 \text{ gram}} \\ &= 368.6541 \text{ ml/gram} \\ &= 368.6541 \text{ l/kg} \end{aligned}$$

### **Pretreatment**

Feed dimasukkan ke reaktor 117 ml/hari / 97.11 gram/hari

Densitas bubur Eceng Gondok = 0.83 ml/gram

Yield dalam *Feed* basah

$$\begin{aligned} \text{Massa Eceng Gondok dalam bubur (1:4)} &= \frac{1}{4} \times 97.11 \\ &= 24.2775 \text{ gram/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total feed selama 7 hari} &= 24.2775 \text{ gram/hari} \times 7 \text{ hari} \\ &= 169.9425 \text{ gram} \end{aligned}$$

Volume Kumulatif Gas = 2553 ml

$$\begin{aligned}\text{Yield} &= \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{Total feed}} \\ &= \frac{2553 \text{ ml}}{169.8423 \text{ gram}} \\ &= 15.023 \text{ ml/gram} \\ &= 15.023 \text{ l/kg}\end{aligned}$$

Yield dalam *Volatile Solid* (VS)

Kandungan (dalam persen massa) Eceng Gondok 95% air, 5% *Total Solid* (TS). *Volatile Solid* (VS) (80% dari TS) 4%.

$$\begin{aligned}\text{Yield} &= \frac{\text{Volume Kumulatif}}{\text{VS}} \\ &= \frac{2553 \text{ ml}}{4\% \times 169.8423 \text{ gram}} \\ &= 375.568 \text{ ml/gram} \\ &= 375.568 \text{ l/kg}\end{aligned}$$